

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robotiky**

**Návrh robotizovaného pracoviště pro svařování trubek  
klimatizačních jednotek**

**Design of Robotized Workplace for Welding of Air  
Conditioners Pipes**

Student:

Bc. Ondřej Kubeša

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Marek

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Kubeša**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Návrh robotizovaného pracoviště pro svařování trubek klimatizačních jednotek**  
**Design of Robotized Workplace for Welding of Air Conditioners Pipes**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného řešení procesu svařování na svém pracovišti.
2. Popište nedostatky aktuálního pracoviště
3. Navrhněte změny/varianty robotizovaného pracoviště pro svařování trubek klimatizačních jednotek.
4. Pro navržené RTP zpracujte technickou zprávu a výkres dispozičního řešení.
5. Zpracujte konstrukční návrh vybrané dílčí části RTP dle upřesnění vedoucího práce a doložte jej potřebnými výpočty a dohodnutými výkresy.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu .doc, .docx či .pdf a v CAD systému (dle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

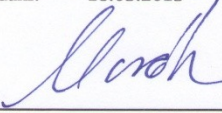
BURKOVIČ, Jan. *Navrhování RTP*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2002, 112 s. ISBN 80-248-0217-1.  
BURKOVIČ, Jan. *Projektování a provoz RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 113 s. ISBN 80-248-0709-2.  
BURKOVIČ, Jan. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003, 117 s. ISBN 80-248-0513-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Marek**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

  
prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, uvedl jsem všechny použité podklady a použitou literaturu.

18. 5. 2015

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015

.....  
Podpis studenta

Adresa trvalého bydliště studenta:

Světlov 90

785 01 Šternberk

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Bc. KUBEŠA, O. Návrh robotizovaného pracoviště pro svařování trubek klimatizačních jednotek. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 58 s. Vedoucí práce: Ing. Jiří Marek.

Diplomová práce se zabývá svařovací buňkou, ve které se bodují za pomoci robotu trubky klimatizačních jednotek. V práci je řešeno, jak nejlépe lze v daném případě buňku zlepšit tak, aby se dosáhlo, co největšího využití robotu, v dané části procesu technologie výroby. V úvodu práce je představen výrobek, který se v robotické buňce svařuje a aktuální robotická buňka se všemi stroji a nástroji. Poté následuje výpis bezpečnostních prvků, soupis nedostatků a výpočet aktuálního využití pracoviště. V dalších kapitolách jsou rozvedena řešení všech nedostatků a navrženy vhodné úpravy svařovací buňky.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

Bc. KUBEŠA, O. Design of Robotized Workplace for Welding of Air Conditioners Pipes. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 58 s. Thesis head: Ing. Jiří Marek.

The thesis deals with welding cell, which is used for welding tube of air conditioning. In this thesis is solved improvement of welding cell for bigger utilization of robot in the technological process of production. The introduction of thesis contains presentation a product processed in a robotic welding cell and the actual robot cell with all the machines and tools. After this is an inventory of safety features, inventory shortages and calculating the current utilization of the workplace. In other sections are elaborated solutions all of deficiency and propose appropriate amendments of welding cell.

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>POŽADAVKOVÝ LIST .....</b>	<b>2</b>
2.1.1	POŽADAVKY NA DANOU TECHNOLOGII BODOVÁNÍ.....	2
2.1.2	POŽADAVKY NA BEZPEČNOST .....	2
<b>3</b>	<b>PROVEĎTE ANALÝZU SOUČASNÉHO ŘEŠENÍ PROCESU SVAŘOVÁNÍ NA PRACOVÍŠTI .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2</b>	<b>POPSAT PRACOVÍŠTĚ, POUŽITÉ SVAŘOVÁNÍ, SCHÉMA DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ, POUŽITÉ ENERGIE .....</b>	<b>5</b>
3.2.1	POUŽITÉ ENERGIE .....	8
3.2.2	METODA TIG:.....	8
3.2.3	IP KRYTÍ .....	10
<b>3.3</b>	<b>TECHNOLOGICKÝ POSTUP RTP + NÁVAZNOSTÍ, ČASY ČINNOST .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>SOUPIS PŘÍSTROJŮ (TECHNICKÁ DATA, OBRÁZEK).....</b>	<b>14</b>
3.4.1	SVAŘOVACÍ BUŇKA.....	14
3.4.2	ROBOT ABB IRB 2600ID .....	15
3.4.3	ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA ROBOTU .....	17
3.4.4	ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA SVAŘOVÁNÍ.....	18
3.4.5	SVAŘOVACÍ HUBICE .....	20
3.4.6	FILTRAČNÍ JEDNOTKA FD S PLOCHÝMI VLOŽKAMI .....	21
3.4.7	ROTAČNÍ POLOHOVADLA A SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK.....	23
3.4.8	SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK .....	24

3.4.9	OPTICKÁ ZÁVORA.....	27
3.5	BEZPEČNOST PRACOVISTĚ .....	28
4	<u>POPIŠTE NEDOSTATKY AKTUÁLNÍHO PRACOVISTĚ.....</u>	<u>29</u>
4.1	ČASOVÉ VYUŽITÍ ROBOTU .....	29
4.1.1	VÝPOČET VYUŽITÍ ROBOTU.....	29
4.2	PŘÍPRAVA MATERIÁLU ČLOVĚKEM, JEHO VYUŽITÍ .....	31
4.3	BEZPEČNOST NA PRACOVISTI .....	32
5	<u>ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ.....</u>	<u>33</u>
5.1	ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ BEZPEČNOSTNÍHO CHARAKTERU .....	33
5.2	ŘEŠENÍ SAMOTNÉHO PROCESU SVAŘOVÁNÍ .....	34
5.2.1	PŘEDSTAVENÍ UPRAVENÉ BUŇKY.....	35
5.2.2	ZÁSOBNÍK .....	37
5.2.3	EFEKTOR .....	39
5.2.4	ÚPRAVA PROCESU BODOVÁNÍ .....	46
5.3	KONTROLA UPÍNACÍCH ŠROUBŮ NA POLOHOVADLECH .....	48
5.3.1	KONTROLA ŠROUBŮ NA STŘIH .....	49
5.3.2	NOVÝ VÝPOČET VYUŽITÍ ROBOTU V UPRAVENÉ BUŇCE .....	49
5.3.3	VÝSTUP HOTOVÉHO VÝROBKU .....	52
6	<u>ZÁVĚR.....</u>	<u>54</u>
7	<u>POUŽITÁ LITERATURA .....</u>	<u>56</u>
8	<u>PŘÍLOHY.....</u>	<u>59</u>

# Seznam použitého značení

<i>Symbol</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotka</i>
$a$	zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_{2x}$	součet $a_n + a_x$	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_{2y}$	$= a_y$	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_{2z}$	$a_t$	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_n$	normální zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_t$	tečné zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_x$	zrychlení složek os x	$[\text{ms}^{-2}]$
$a_y$	zrychlení složek os y	$[\text{ms}^{-2}]$
$B_v$	kolikrát ponese beden za 1 směnu	$[-]$
$d$	průměr šroubu	$[\text{m}, \text{mm}]$
$g$	gravitační zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
$F$	síla	$[\text{N}]$
$F_u$	uchopovací síla	$[\text{N}]$
$m$	hmotnost	$[\text{kg}]$
$N_r$	nevyužití robotu	$[\%]$
$r$	poloměr	$[\text{mm}]$
$S$	obsah průřezu šroubu	$[\text{m}^2]$
$s$	dráha	$[\text{m}, \text{mm}]$



$t$	čas	[s, min, h]
$t_1$	čas, za který robot udělá pohyb vzhůru	[s]
$t_2$	čas rotace s výrobkem	[s]
$t_{23}$	$t_1 + t_2$	[s]
$t_3$	čas pohybu dolů	[s]
$t_c$	čas celkové manipulace	[s]
$T_n$	nečinnost směny	[s]
$v_1$	rychlost	[ms <sup>-2</sup> ]
$v_3$	maximální rychlost při pohybu kolmo vzhůru	[ms <sup>-2</sup> ]
$V_r$	využití robotu	[%]
$\tau_s$	napětí ve stříhu	[Pa]
$\tau_{sdov}$	dovolené napětí stříhu	[MPa]
$\varepsilon$	úhlové zrychlení	[ms <sup>-2</sup> ]
$\varphi$	dráha rotace	[rad]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad/s]

# 1 Úvod

V této diplomové práci bude představena aktuální svařovací buňka, která se nachází mezi pracovišti ohýbacího stroje a olejové lázně.

Úkolem buňky je bodování dvou trubek a plechu k sobě. Využívá přitom k bodování technologii TIG. Obsluha zde provádí zakládání a upínání komponent do svařovacího přípravku a spuštění procesu bodování. Po skončení procesu operátor výrobek vytáhne a vloží do bedny, která posléze putuje na další pracoviště. Okna svařovací buňky má operátor k dispozici dvě, takže když jedno okno obsluhuje, v druhém robot provádí bodování. Okna se zavírají roletou, která chrání zdraví operátora.

Cílem diplomové práce je navrhnout řešení pro zlepšení svařovací buňky, tak aby bylo zajištěno větší využití robotu, odstranění možných lidských chyb a zároveň zachování či zvýšení produktivity celého pracoviště. V práci budou popsány různé chyby či nedostatky pracoviště, které bude nutno odstranit.

Na začátku práce bude nutné představení aktuální buňky a sestavení požadavkového listu. Poté se musí shromáždit informace o nedostacích pracoviště, s kterými se bude nadále pracovat. Ověří se dostatečné zabezpečení buňky a představí se řešení různých problémů v různých částech buňky.

## 2 Požadavkový list

- ❖ proveďte analýzu současného řešení procesu svařování na svém pracovišti,
- ❖ popište nedostatky aktuálního pracoviště,
- ❖ navrhňte změny/varianty robotizovaného pracoviště pro svařování trubek klimatizačních jednotek,
- ❖ pro navržené RTP zpracujte technickou zprávu a výkres dispozičního řešení,
- ❖ zpracujte konstrukční návrh vybrané dílčí části RTP dle upřesnění vedoucího práce a doložte jej potřebnými výpočty a dohodnutými výkresy,
- ❖ práci též doložte v elektronické podobě ve formátu .doc, .docx či. pdf a v CAD systému (dle pokynů vedoucího).

### 2.1.1 Požadavky na danou technologii bodování

- ❖ upravte svařovací buňku tak, aby se proces svařování obešel bez člověka,
- ❖ popište stávající řešení, navrhňte změnu a ověřte její správnost,
- ❖ není možné nahradit člověka dalším robotem z důvodu dispozice buňky na hale,
- ❖ vypočítejte stávající využití robotu a zvedněte jeho hodnotu úpravou buňky.

### 2.1.2 Požadavky na bezpečnost

- ❖ zajistěte, aby seřizovač nemohl spustit proces či manipulovat s robotem, když se nachází uvnitř on, nebo jiná osoba,
- ❖ navrhňte úpravu buňky, aby byl zajištěn lepší přístup ke všem strojům a přístrojům uvnitř buňky,
- ❖ všechny úpravy zpracujte tak, aby nebylo možné jakékoliv ohrožení člověka.

### 3 Proved'te analýzu současného řešení procesu svařování na pracovišti

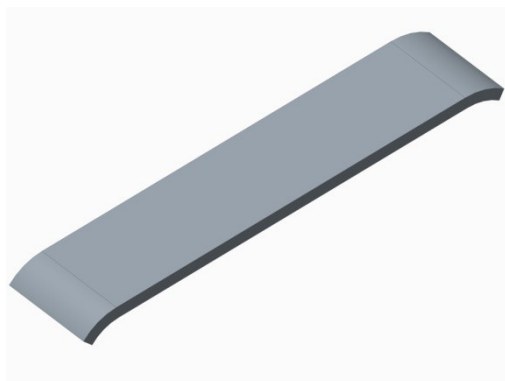
Na pracovišti se nyní boduje sestava dvou trubek a plechu. Za jednu sestavu trubek robot vytvoří čtyři body svařením pomocí technologie TIG. Celý technologický postup můžeme sledovat v Tab. 3.3. Operátor má k dispozici dvě okna robotické buňky, do kterých zakládá jednotlivé trubky a spojovací plech. Poté se spouští svařovací cyklus robota. Jakmile je sestava hotová, operátor ji vyjme, odloží ji do příslušné bedny a začíná zakládat nové kusy.

#### 3.1 Výrobek

Finální výrobek tvoří dvě tenkostěnné ocelové trubky  $\varnothing 14 \times 1$  mm a plech o rozměrech  $60 \times 15 \times 1,5$  mm.

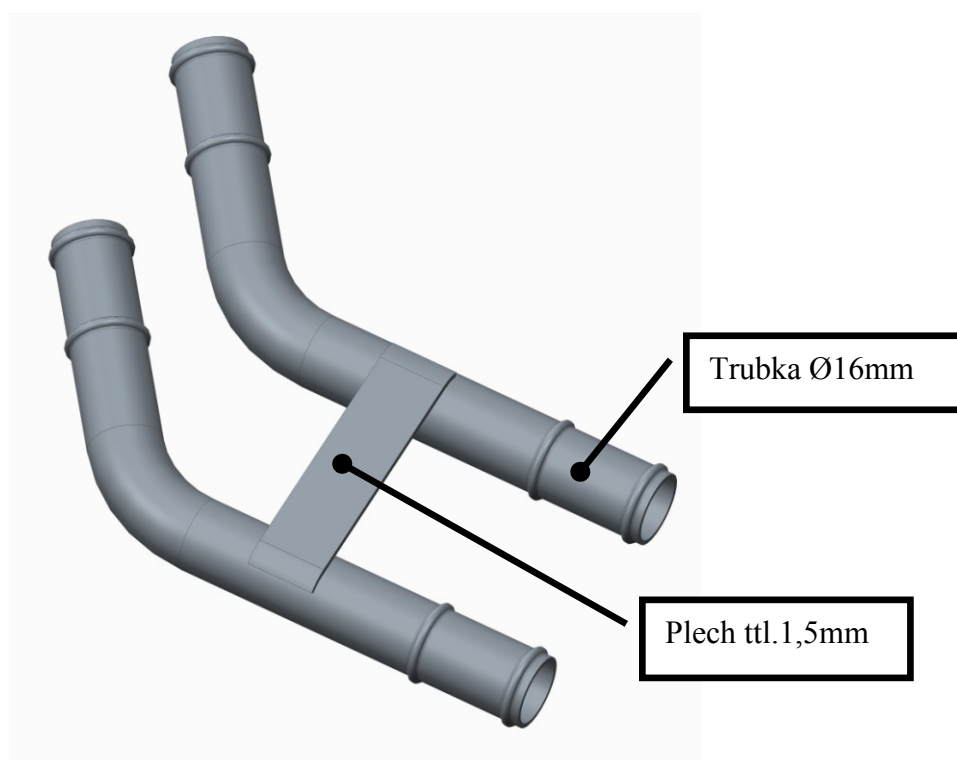


**Obr. 1 Trubka po ohnutí a formování**



**Obr. 2 Spojovací plech o tloušťce 1,5 mm**

Tento plech je dodáván s částečně zahnutými konci tak, aby souběžně ležel na trubce. Konce trubek jsou naformované (vytvoření prstýnků na koncích trubek). Vytvořené prstýnky mají předepsané rozměry a tolerance dle výrobce. Celá sestava se bude dodávat k zákazníkovi namazaná olejem, který má za úkol plnit funkci konzervantu při cestě z továrny a zajišťovat po určitou dobu rezistenci sestavy proti rzi.



**Obr. 3 Finální výrobek, červeně označené jsou body svaru robotu**

## 3.2 Popsat pracoviště, použité svařování, schéma dispoziční řešení, použité energie

### Dispoziční řešení buňky

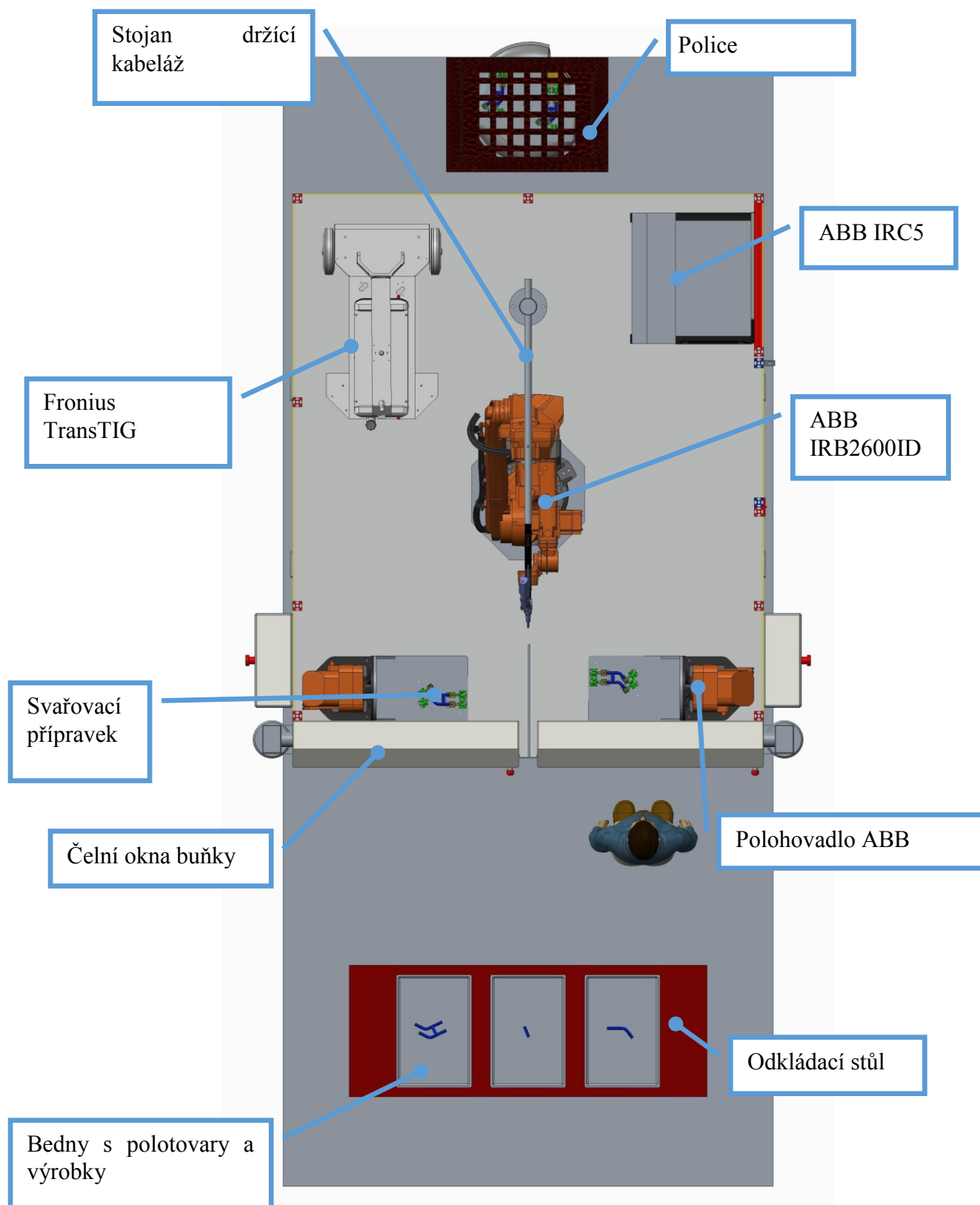
Komponenty v buňce jsou umístěny na podlaze o rozměrech 5735x2100x2160 mm. Celá buňka je obestavěna hliníkovými profily 50x50 mm a mezi nimi jsou dřevěné desky. Použité profily jsou od firmy Haberkorn.



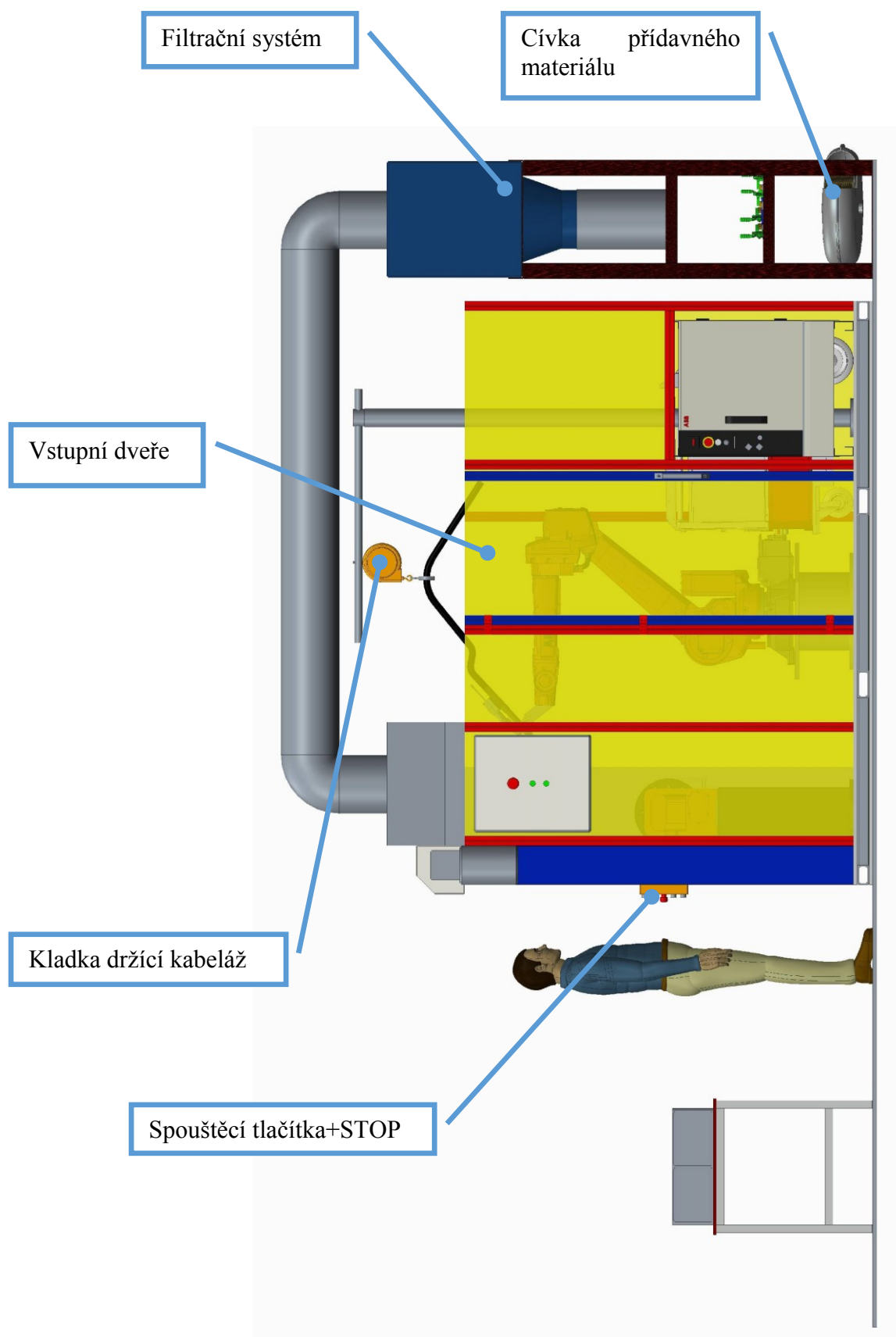
**Obr. 4 Využití hliníkových profilů [20]**

Z čela jsou dvě okna s roletami a z pravé strany buňky se nachází vstupní dveře. V čela buňky je místo pro operátora a jeho odkládací stůl s bednami. Operátora před bodováním chrání roleta, která se nachází v každém okně. Každé okno má svůj spouštěcí mechanismus a nouzové tlačítko. V každé boční straně se nachází ovládací panel rolet taktéž s nouzovým tlačítkem a samostatné okno pro řídicí jednotku robotu.

Uvnitř buňky se nachází robot, řídicí jednotka robotu, svařovací agregát, stojan držící kabeláž od robotu a polohovadla se svařovacími přípravky. Každé se čtyřmi mechanickými upínkami. Nad buňkou vede potrubí, které odvádí zplodiny bodování do filtrační jednotky, která je zezadu buňky. Ze zadní strany se také nachází police pro odložení vyměnitelných přípravků, cívky drátu a odpadního koše z filtrační jednotky.

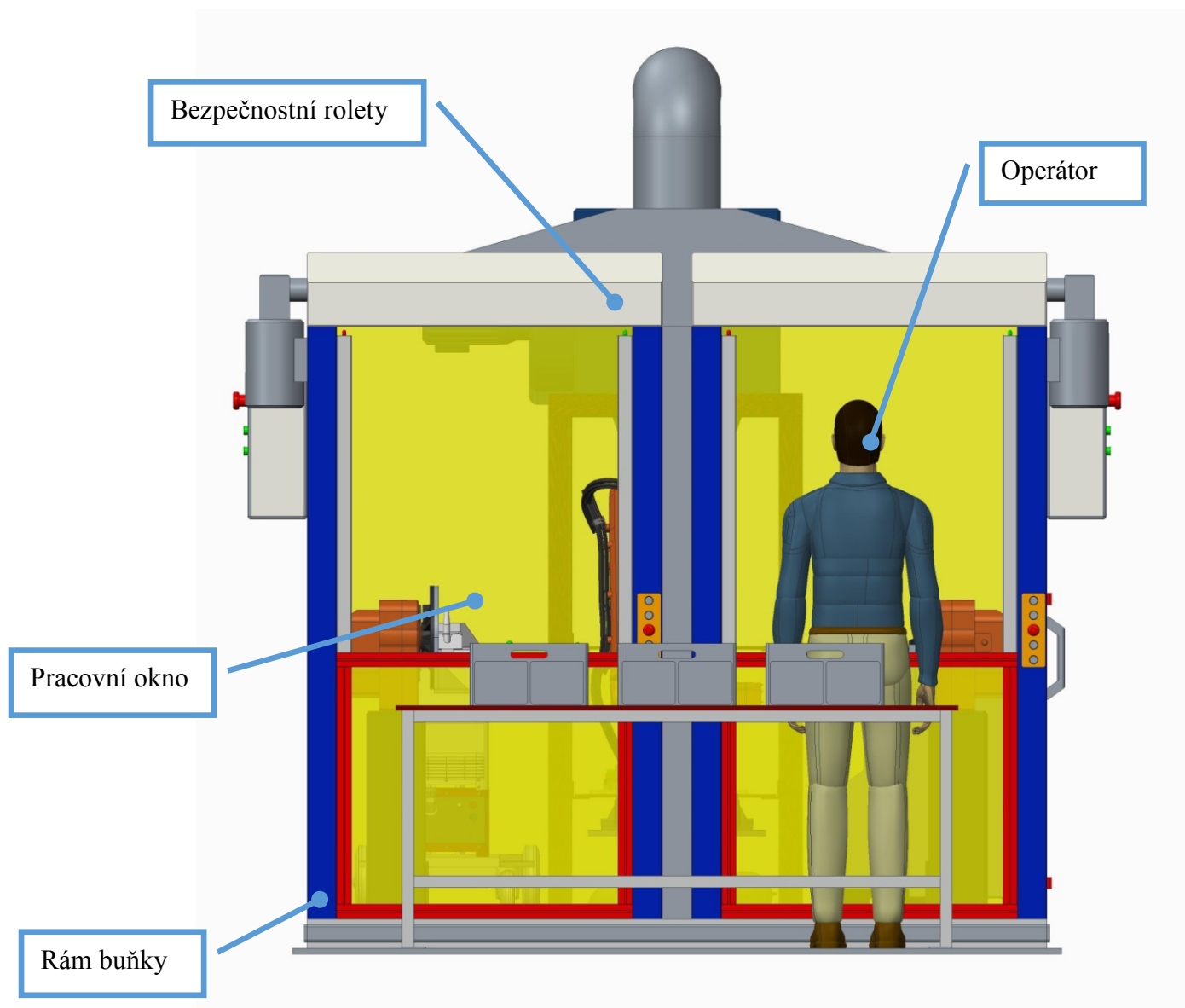


Obr. 5 Dispoziční půdorys aktuální buňky



**Obr. 6 Boční pohled na svařovací buňku**





**Obr. 7 Čelní pohled na svařovací buňku**

### **3.2.1 Použité energie**

Na pracovišti se nachází přípojky pro elektrickou energii 230V, 380V a stlačený vzduch o hodnotě 6 barů.

### **3.2.2 Metoda TIG:**

Jedná se o metodu svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu.

Obloukové svařování netavící s elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu je tavná metoda svařování elektrickým obloukem, která se používá především pro svařování hliníku a hořčíku a jejich slitin, korozivzdorných ocelí, niklu, mědi, bronzů, titanu, zirkonu a dalších kovů.

Technologie je náročná, a proto je potřeba zručného svářeče či robota.

Metoda je charakteristická dvěma rysy. Prvním je použití neodtavujících se wolframových elektrod, které jsou vyrobeny, buď z čistého wolframu, anebo jsou k wolframu přidávány vybrané příměsi. A druhým rysem je použití inertních plynů, které chrání jak svarovou lázeň, tak i samotné elektrody. Ochranným plynem v tomto případě je Argon, který je dodáván z nádrže umístěné vně robotické buňky.

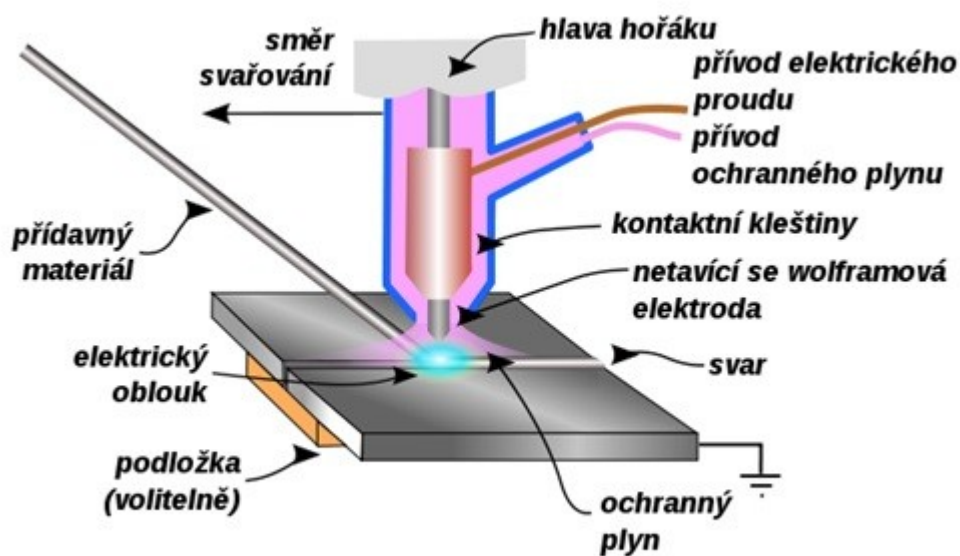
Při svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu hoří elektrický oblouk buď mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem, nebo svarovou lázní. Vzniklé teplo natavuje svarové hrany základního materiálu případně i přídatný materiál.



**Obr. 8 Ruční svařovací hubice pro svařování metodou TIG [11]**



Obr. 9 Rozklad ruční hubice [11]



Obr. 10 Vysvětlení svařování metodou TIG [11]

### 3.2.3 IP krytí

IP krytí udává odolnost elektrospotřebiče proti vniknutí cizího tělesa či kapalin. Vyjadřuje se v tzv. IP kódu – z anglického výrazu Ingressprotection – definovaného standardem IEC 602529.

Kód tvoří dvě čísla, první udává ochranu před nebezpečným dotykem a před vniknutí cizího předmětu pod plášť výrobku a druhé číslo udává stupeň krytí proti vodě. Nejvyšším stupněm ochrany je IP68.

**Tab. 3.1 První číslice krytí**

Stupeň krytí:	Nebezpečný dotyk:	Vniknutí cizích předmětů:
IP0x	Bez ochrany	Bez ochrany
IP1x	Dlaní	Velkých
IP2x	Prstem	Malých
IP3x	Nástrojem	Drobných
IP4x	Nástrojem, drátem	Velmi drobných
IP5x	Jakoukoliv pomůckou	Prachu částečně
IP6x	Jakoukoliv pomůckou	Prachu úplně

**Tab. 3.2 Druhá číslice krytí:**

Stupeň krytí:	Vniknutí vody:
IPx0	Bez ochrany
IPx1	Chráněno proti kapající vodě 1+0,5 mm za minutu. Jednotka je umístěna ve své pracovní poloze a otáčí se kolem vertikální osy. Doba zkoušky 10 minut.
IPx2	Chráněno proti kapající vodě 3+0,5 mm za minutu, Jednotka je testována ve 4 pozicích, nakloněných o 15° od normální provozní polohy. Doba zkoušky 2,5 minuty na polohu.
IPx3	Chráněno proti vodní tříšti. Voda stříká na přístroj v úhlu 60° vertikálně, v množství 10 litrů za minutu a při tlaku 80–100kN/m <sup>2</sup> po dobu nejméně 5 minut.
IPx4	Chráněno proti stříkající vodě. Stejně jako u IP x3, jen s rozdílem, že voda stříká ve všech úhlech.
IPx5	Chráněno proti tryskající vodě. Voda míří 6,3 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 12,5 litrů za minutu při tlaku 30 kN/m <sup>2</sup> po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.
IPx6	Chráněno proti vlnobití. Voda míří 12,5 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 100 litrů za minutu při tlaku 100 kN/m <sup>2</sup> po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.
IPx7	Chráněno proti ponoření do vody. Ponoření na 30 minut do hloubky 1 metr.
IPx8	Chráněno proti potopení do vody. Zařízení je schopné nepřetržitého potopení do vody za podmínek, které určí výrobce zařízení.

Tyto informace jsou zde uvedeny proto, že pro některé přístroje je v diplomové práci uvedena hodnota krytí dle výrobce. Údaj je nezbytný proto, že okolo pracoviště se může manipulovat s oleji, vodou a ostrými předměty. Toto označení chrání drahé přístroje a stroje, které jsou součástí pracoviště.

### 3.3 Technologický postup RTP + návazností, časy činnost

**Tab. 3.3 Technologický postup výroby**

Číslo kroku	Operace	Popis	Čas výkonu
1.krok	Formování	Vytvoření prstenů na polotovarech	
2.krok	Praní	Očištění komponent pro požadovanou čistotu	
3.krok	Ohýbání	Ohnutí naformovaných polotovarů	
4.krok	Bodování	Založení a upnutí všech komponent operátorem	14 s
		Spuštění procesu svařování	4 s
		Samotný proces svařování	15 s
		Otevření okna po svařování + natočení robotu do výchozí polohy	4s
		Vyjmutí sestavy operátorem a založení do bedny	5 s
		Proces předání plné bedny na další technologické pracoviště	30s, 1x za 35min
5.krok	Chladnutí	Snížení teploty sestavy po bodování	
6.krok	Olejová lázeň	Ponor sestav do olejové lázně, výdrž, balení, přesun připravených beden na určené místo	
7.krok	Logistika	Příjem hotových sestav a plánování expedice k zákazníkovi	

#### Technologický postup při výrobě sestavy:

Koncovka polotovaru trubky se hydraulicky formuje na lisu pomocí formovacího nářadí, poté se na ohýbacím stroji trubky ohýbají a dále perou kvůli požadované čistotě zákazníka.

Po praní následuje operace bodování. Do jednotlivého okna svařovací buňky operátor postupně zakládá obě trubky a spojovací plech. Po ustavení komponent ve svařovacím přípravku operátor uzavře všechny mechanické upínky. Dále operátor ručně odstartuje proces bodování tohoto pracoviště tlačítkem. Ochranná roleta sjede do spodní pozice a robot svařuje.

Poté se celý cyklus opakuje u druhého okna. Jakmile je sestava kompletní, roleta otevře okno, operátor vyjme sestavu a vloží ji do příslušné bedny. Pokud je bedna plná, odnese ji na pracoviště olejové lázně. Zde se sestava chvíli ochlazuje na chladícím stole a poté jej odebírá obsluha do olejové lázně. Po čase v olejové lázni se sestavy balí do vaků vložených v bednách a soustřeďuje se na sběrné místo oddělení logistiky. Oddělení logistiky, v tomto případě, plánuje expedici určitého počtu sestav zákazníkovi.

#### **Zjištění prodlevy robotu:**

**Tab. 3.4 Časy činností na robotické buňce obsluhované operátorem**

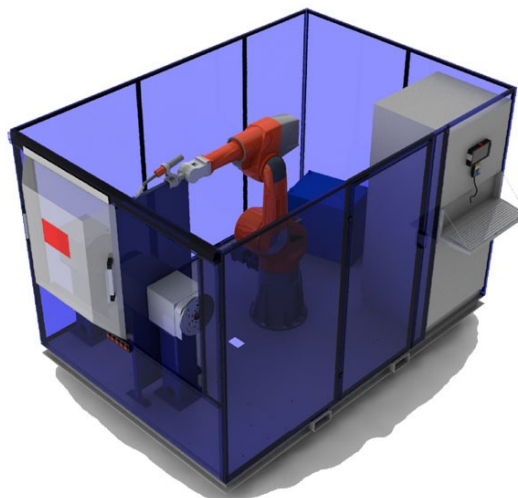
Jednotlivá operace:	Čas činnosti:
Založení a upnutí všech komponent operátorem	16s
Spuštění procesu svařování	4s
Samotný proces svařování	15s
Otevření okna po svařování + natočení robotu do výchozí polohy	4s
Vyjmutí sestavy operátorem a založení do bedny	6s
Proces předání plné bedny na další technologické pracoviště	34s, 1x za 35 min (počítáno 60 kusů sestav na jednu bednu)
Čekání na operátora po svařovací cyklu	<b>4 s (vyjmutí) + 16 s (nové založení) + 4 s (spuštění) - 16 s (svařování) = 8 s</b>

## 3.4 Soupis přístrojů (technická data, obrázek)

### 3.4.1 Svařovací buňka

Buňka se skládá z několika dutých profilů tvořících stěny, které jsou zasazeny do podlahy. Je zde možnost jednoduché přepravy, jelikož celou buňku lze přesunout vysokozdvížným vozíkem. Navíc je buňka skladná na klasický kamionový návěs.

Buňka má dvě pracovní polohovadla pro urychlení procesu svařování. Na polohovadla se připevní svařovací přípravky. Veškerá kabeláž je zabudována uvnitř rámu, tudíž zabraňuje jakémukoliv poškození kabelů při obsluze či údržbě. Přibližně uprostřed celku se nachází robot. Jeho řídicí jednotka je v rohu u vstupních dveří, viz Obr. 11 Ukázka svařovací buňky Cloos Z4. Celá buňka potřebuje pro uvedení do provozu připojit elektrickou energii, stlačený vzduch a ochranný plyn k svařování. Bomba se zásobou ochranného plynu se nachází vně buňky, aby se nemuselo zbytečně složitě manipulovat s nádrží uvnitř robotické buňky.



**Obr. 11 Ukázka svařovací buňky Cloos Z4 [10]**

### 3.4.2 Robot ABB IRB 2600ID

Svařovací robot firmy ABB je využitelný pro velký dosah a nosnost. Robot má speciálně vyvinuté poslední rameno pro ukrytí kabeláže vedoucí od efektoru. Kabeláž je dále vedena k řídicí jednotce robotu a ke svařovací jednotce pomocí lankového systému zavěšeného na zvláštním rameni ve svařovací buňce. Robot je umístěn v buňce přímo mezi dvěma okny tak, aby svařovací přípravky vložené na rameno polohovadla bylo v jeho pracovním prostoru. K robotu je přistavena řídicí jednotka a řídicí jednotka pro technologii svařování, tudíž jednotka pro svařování metodou TIG. Robot je umístěn na podstavci, který robota poutá pevně k podlaze buňky.

Robot má pro bezpečnost dvojité obvody se supervizí, nouzová tlačítka k zastavení a bezpečnostní softwarové funkce. Více informací v příloze 8.1.



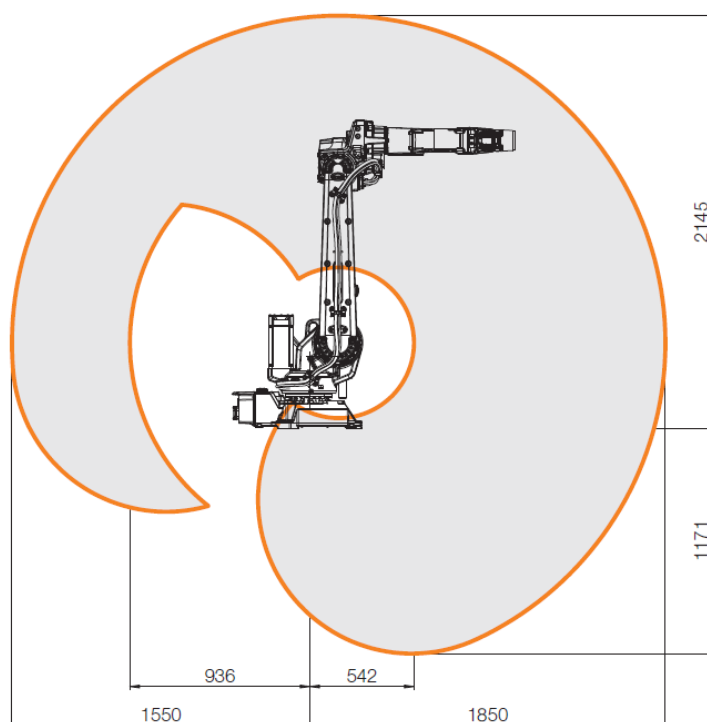
**Obr. 12 Svařovací robot ABB IRB 2600ID se svařovací hubicí [6]**



**Tab. 3.5 Technické údaje:**

<b>Varianta robotu</b>	IBR 2600ID - 15/1.85
<b>Pracovní dosah</b>	1,85 m
<b>Maximální zátěž robotu</b>	15 kg
<b>Počet os robotu</b>	6 os
<b>Krytí robotu</b>	Standardní IP67 pro základnu a první rameno Dále IP54 pro ostatní ramena
<b>Montáž robotu</b>	Podlaha, strop, buňka se dvěma a více roboty
<b>Výška robotu</b>	1600 mm
<b>Hmotnost robotu</b>	Od 273 do 276 kg dle výbavy
<b>Opakovaná přesnost polohy</b>	0.023 - 0.026 mm
<b>Dodávané napětí</b>	200 - 600 V, 50 - 60 Hz

IRB 2600ID-15/1.85



**Obr. 13 Rozsah robotu ABB IRB 2600ID [6]**

### 3.4.3 Řídící jednotka robotu

Řídící jednotka je také od firmy ABB. Je určena k ovládání robotu ABB IRB 2600ID. Jednotka se nachází uvnitř buňky, ale její ovládací část je zpřístupněna seřizovači z vnější strany buňky. Jednotka má na čelní straně základní tlačítka pro spuštění, ovládací režimy, vstupní porty, nouzové tlačítko a servisní otvor. Jako příslušenství k jednotce je zde Flexpendant, což je dálkové ovládání robotu, všech jeho os plus ovládání možného efektoru. Řídící jednotka je přišroubována k podlaze robotické buňky a čelem přístupná vnějšímu okolí. Více informací v příloze 8.2.



Obr. 14 Řídící jednotka robotu ABB [8]

Tab. 3.6 Technická data

Elektrické připojení:	Vstupní napětí 3 fázové, 200-600V, 50-60 Hz
Stupeň ochrany:	IP 54 (chladicí potrubí IP33)
Operační teplota:	0-52°C
Bezpečnostní prvky:	Elektronické polohové snímače - 5 výstupů od všech os robotu

#### **Řídící hardware:**

- ❖ multiprocessorový systém,
- ❖ PCI bus,
- ❖ pentium(R) CPU,
- ❖ flash disk nebo hard disk pro hromadnou paměť,
- ❖ energetická záloha pro případ výpadku proudu,
- ❖ paměťové rozhraní USB.

#### **Řídící software:**

- ❖ provedení zaměřené na předměty / objekty,
- ❖ vysokoúrovňový robotický programovací jazyk RAPID,
- ❖ přenosný, otevřený, rozšiřitelný,
- ❖ formát souboru PC-DOS,
- ❖ softwarové produkty RobotWare.

#### **Flexpendant:**

- ❖ hmotnost 1kg,
- ❖ grafická barevná dotyková obrazovka,
- ❖ joystick,
- ❖ nouzový vypínač,
- ❖ podpora pro pravoruké a levoruké operátory,
- ❖ podpora USB paměti.

### **3.4.4 Řídící jednotka svařování**

Řídící jednotka pro svařovací proces je od firmy Fronius. Typ řídící jednotky je TransTig 4000. Jednotka je určená pro konstrukční dílny a výrobní provozy. Jednotka je schopna svařovat slitiny ocelí, vysoce legované oceli a neželezné materiály, jako například nerez či hliník. Použití provozů je velmi široké a tak je tato svářecí stanice velice praktická pro celý výrobní závod.

Pole působnosti:

- ❖ aerospace,
- ❖ automobilový průmysl,
- ❖ průmyslová zařízení,
- ❖ výroba potrubí,
- ❖ výroba sestav,
- ❖ údržby a nástrojárny,
- ❖ robotické svařování,
- ❖ provozy vyrábějící kovové kontejnery, železniční průmysl atd.

Jednotka se nachází přímo v pozadí robota v rohu svařovací buňky. Přes pohyblivé rameno je jednotka spojena s posledním ramenem robota a dodává technologii potřebnou k vytváření komponent na pracovišti.

FroniusTransTig 4000 se standardně dodává na vozíku, který umožňuje snadnou manipulaci. Vozík byl pro tento účel dále doplněn o brzdu na předních kolech, aby nedocházelo při vibracích a k jeho samovolnému přemísťování.



**Obr. 15 Svařovací jednotka FroniusTranstig 4000 [12]**

**Tab. 3.7 Technická data [12]:**

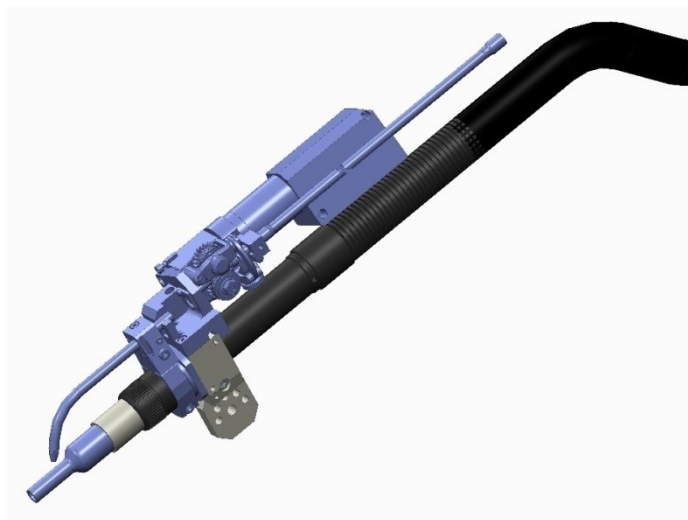
Vstupní napětí	3 x 400 V
Tolerance vstupního napětí	+15 % / -15 %
Síťové jištění	35 A
Hlavní trvalý výkon	11,8 kVA
Rozsah svařovacího proudu	3 -400 A
Napětí na prázdno	86 V
Pracovní napětí	10,1 - 26 V
Ochrana proti vnějším vlivům	IP 23
Rozměry (délka,šířka,výška)	625 x 290 x 475
Váha jednotky	40 kg

Pro samotné svařování je použita jednotka firmy Fronius pro robotické svařování. Jednotka je umístěna na posledním článku robota ABB IRB 2600ID. Kabeláž je protažena posledním ramenem přes stojan dále k řídicí jednotce.

### **3.4.5 Svařovací hubice**

Používaná svařovací hubice je klasická TIG hubice s netavící se elektrodou. Je zde i možnost přívodu přídatného drátu s pohonem. Dále přívodu elektrické energie a ochranného plynu. Celá hubice je spojena rámem na interface posledního ramene robota.

Kabeláž vedoucí od hubice k svařovací jednotce je vedena v plastovém krytu, který je upevněn na pomocném stojanu buňky přes pružnou kladku. Kladka zajišťuje pozici plastového krytu tak, aby v žádné poloze nebránil robotu v pohybu a zároveň držel plastový kryt. Stojan je přišroubován k podlaze buňky a je otočná.



**Obr. 16 Svařovací hubice TIG [21]**

### **3.4.6 Filtrační jednotka FD s plochými vložkami**

Filtrační jednotka se používá pro větší objemy vzduchu a horké plyny jako například ze svařovacích boxů, buněk či celých svařovacích linek.

Filtrační jednotka FD s čištěním stlačeným vzduchem je vybavena stacionárním ofukovacím potrubím a regeneračními tryskami. Stlačený vzduch je dodáván ze vzdušníků, které jsou součástí filtru, a které mají elektromagnetické ventily řízené automaticky. Stlačený vzduch je dodáván přímo z firemního řádu.

**Odsávané objemy:** 17000 až 340000 m<sup>3</sup>/h

#### **Hlavní vlastnosti**

- ❖ jednotka je sestavena a otestována ve výrobním závodě,
- ❖ off-line regenerace i při maximálním zatížení filtru,
- ❖ účinný "down-flow" systém filtrace (vzduch je filtrován při pohybu shora dolů),
- ❖ nízké emise, dlouhá životnost filtračních kazet.

## Typické aplikace

- ❖ odsávání pecí na tavení rud a kovů, slévárny železa i neželezných kovů,
- ❖ svařovací prostory,
- ❖ spalovny, tepelné elektrárny, spalování biomasy,
- ❖ krematoria,
- ❖ asfaltový a petrochemický průmysl.



**Obr. 17 Příklad použití filtrační jednotky [15]**

### 3.4.7 Rotační polohovadla a svařovací přípravek

Použitá rotační polohovadla na robotické buňce jsou od firmy ABB, a to typ IRBP L300



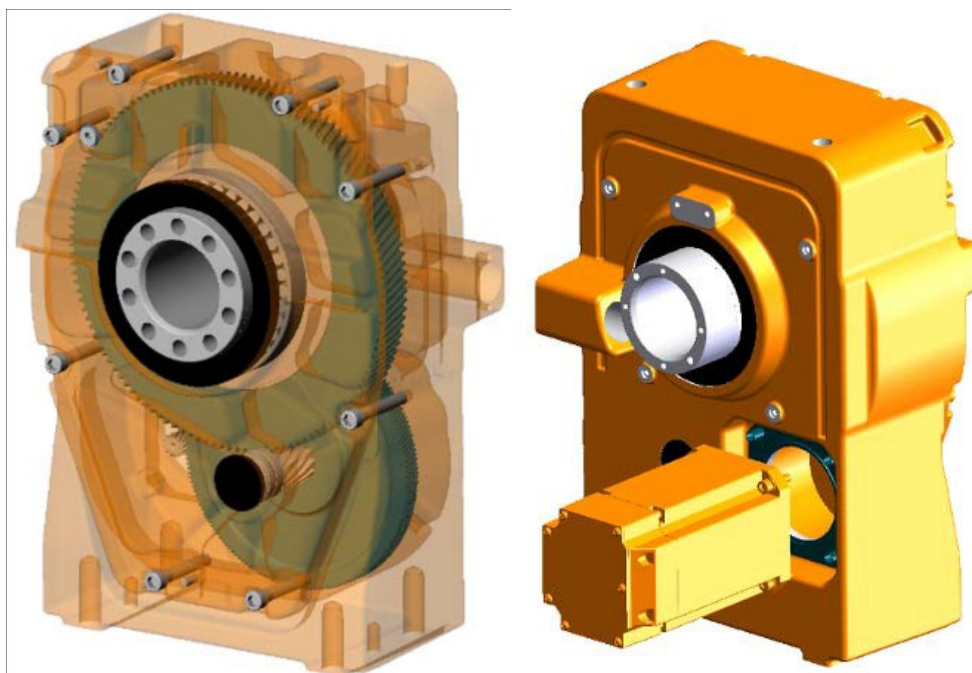
**Obr. 18 Polohovadlo ABB IRBP L300 s připojovací deskou [7]**

Na polohovadle se nachází přišroubovaná deska, která drží svařovací přípravek. Přípravek slouží k uchycení všech komponent v jakékoli poloze tak, aby se seřizovač mohl naprogramovat robota tak, že všechny potřebné body budou svařeny. Více informací v příloze 8.3.

**Tab. 3.8 Technická data polohovadla ABB IRBP L300**

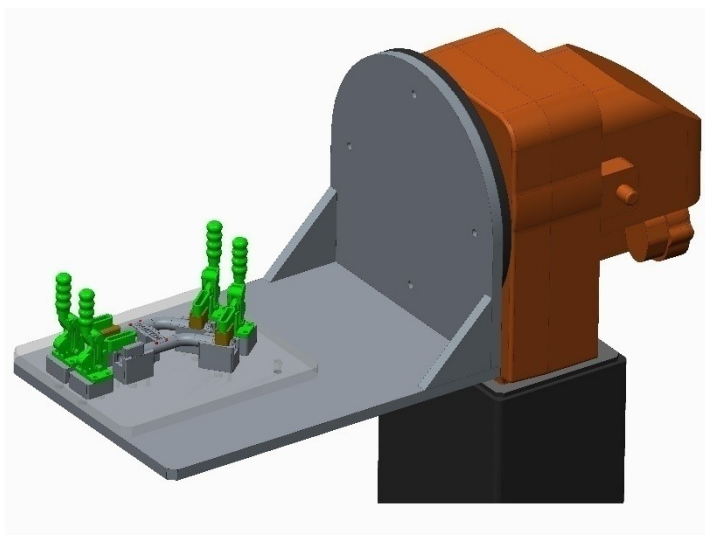
Typ polohovadla	L300
Nosnost	300 kg
Maximální stálý krouticí moment	350 Nm
Maximální ohybový moment	600 Nm
Přesnost polohování	+/- 0,05 mm
Maximální rychlost rotace	180°/ s





**Obr. 19 Polohovadlo ABB IRBP L300 [7]**

### **3.4.8 Svařovací přípravek**

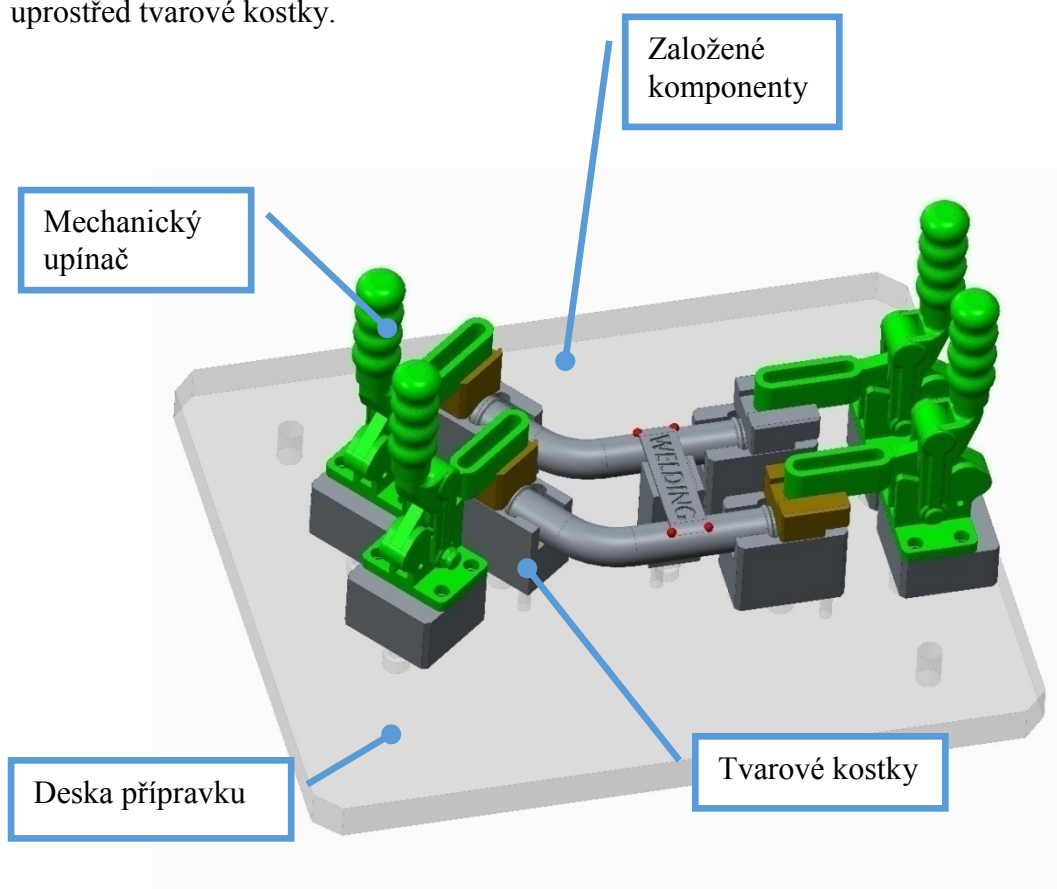


**Obr. 20 Polohovadlo s deskou pro upnutí svařovacího přípravku [7]**

Samotný svařovací přípravek obsahuje základovou desku z duralu, vedení pro trubky, opěrku pro plech s magnetem a upínače v takové výšce, aby zabezpečily dostatečné upnutí každého konce trubky.

Postup založení dílů:

V první fázi operátor umístí do tvarových kostek trubky a poté je upevní za pomoci mechanických upínek. V druhé fázi založí plech do tvarové kostky tak, aby plech dosedal na obě trubky. Plech drží dále na místě magnet, který se nachází uprostřed tvarové kostky.

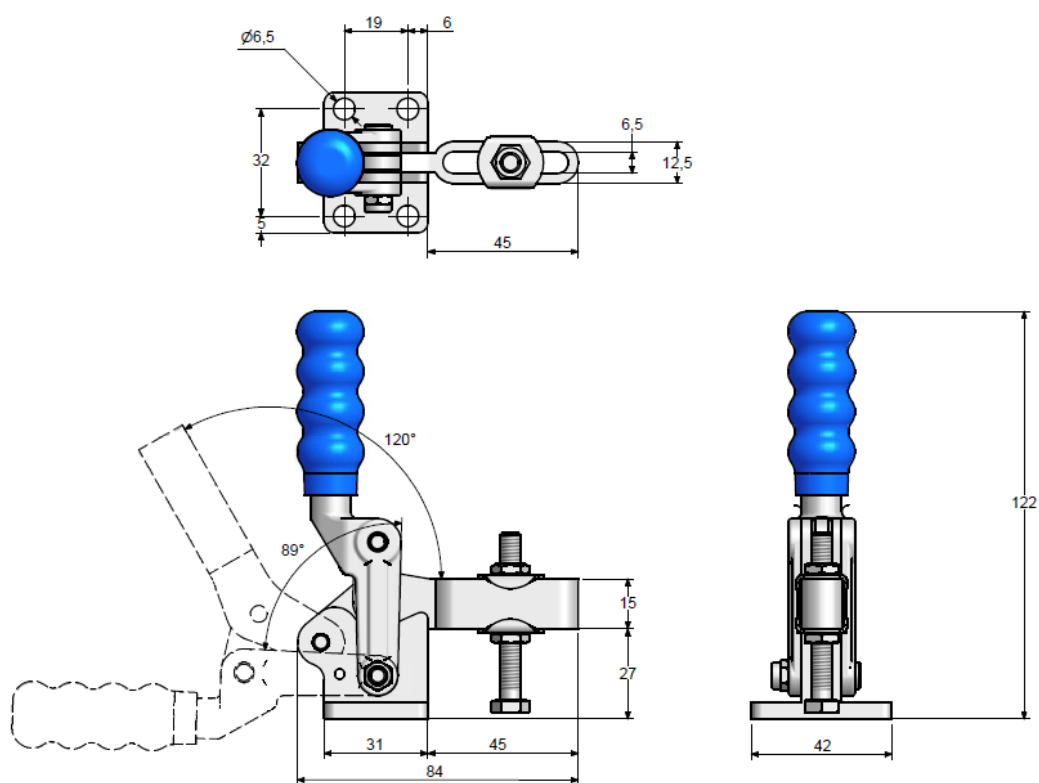


**Obr. 21 Svařovací přípravek na polohovadle [16]**

Upínač (zeleně na Obr. 21 Svařovací přípravek na polohovadle) je vertikální spona od firmy SandfieldEngineering typu M17UB. Více informací v příloze 8.4.

**Tab. 3.9 Technická data:**

Vlastnost:	Jednotka:
Materiál	Ocel, odlitek
Úprava materiálu	Černění
Spojovací šroub	M6x50 mm
Maximální zadržovací síla	3200 N
Váha	0,28 kg
Upínací síla na konci ramene	700 N
Upínací síla na začátku ramene	900 N



**Obr. 22 Rozměry a rozsah pohybu upínače M17U [16]**

### 3.4.9 Optická závora

Výrobce SICK. Typ M40E-032223RB0. Optická závora slouží k ověření, že v případě spuštění procesu svařování a stahování rolety nemá operátor, či jiná osoba končetiny či jiné části těla v pracovním okně. Více informací v příloze 8.6.

**Tab. 3.10 Technická data vysílače**

Počet paprsků	3
Rozlišení	220mm
Dosah paprsků	0.5m - 70m
Napájecí napětí	24V
Bezpečnostní krytí	IP 65
Operační teplota	-30°C až 55 °C

**Tab. 3.11 Technická data přijímače**

Maximální čas odpovědi	10 m/s
------------------------	--------

Technická data přijímače jsou totožné s vysílačem, největší význam má však hodnota maximálního času odpovědi pro vysílač.



**Obr. 23 Optické brány SICK [19]**

### **3.5 Bezpečnost pracoviště**

Na pracovišti se nachází prvky, které zajišťují bezpečnost obsluhy či seřizovače robotu. Základním bezpečnostním prvkem jsou vstupní dveře s magnetickým dorazem a senzorem uzavření. Dále to jsou optické brány, které brání zranění operátora i jiných osob při činnostech buňky.

Na pracovišti je nainstalován odvětrávací systém Nedermann, který odsává zplodiny po bodování, tudíž je nepravděpodobné, že se operátor či jiná osoba nadýchá zdraví škodlivého vzduchu.

Pro bezpečnost robotu hlídá jeho systém elektrický proud pro pohony tak, aby nedošlo k větší kolizi svařovací hubice s jakýmkoliv předměty uvnitř svařovací buňky.

## 4 Popište nedostatky aktuálního pracoviště

### 4.1 Časové využití robotu

Z Tab 4.1. Vstupní hodnoty výpočtu a následného výpočtu zjistíme, že robot má prostoje 5s mezi každou svařovací operací z důvodu čekání na operátora. Dále robot nepracuje, když obsluha přemísťuje bednu s hotovými kusy na technologicky následující stanoviště. Operátor se vrací na pracoviště v průměru za 12s. Tento úkon je prováděn jednou za 35 minut.

#### 4.1.1 Výpočet využití robotu

**Čas nečinnosti robotu:**

Čas nečinnosti 30 s za 35 minut směny kdy operátor přemísťuje plnou bednu s výrobky na další pracoviště. K tomu připočítáme čas, který stráví robot čekáním po bodování, než operátor vyjme sestavu a založí nové polotovary.

**Tab. 4.1 Vstupní hodnoty výpočtu**

Počet kusů v bedně, kterou ponese	60 ks
Čekání na operátora po svařovacím cyklu	8 s
Proces předání plné bedny	34 s

$$T_{35} = 60 \cdot 8 \text{ s} + 34 \text{ s} = 541 \text{ s} \quad (4.1)$$

Za celou směnu (7,5 hod=450 min) ponese bednu s výrobky:

$$B_V = \frac{514}{35} = 14.7 \approx 15x \quad (4.2)$$

Bereme v úvahu nejnepříznivější stav, proto zaokrouhlíme nahoru.

Čas nečinnosti za pracovní směnu (7,5hod):

$$T_N = T_{35} \cdot B_V = 13 \cdot 514 \text{ s} = 6682 \text{ s} \quad (4.3)$$

**Za celou směnu (7,5hod) se dostáváme na čas 111,4 minut nečinnosti robotu.**

Dále zde není zahrnut lidský faktor, který je přítomen na všech pracovištích obsluhovaných člověkem. Faktory jsou zvoleny subjektivně. Mezi tyto faktory patří:

- ❖ čas pro uhašení případné žízně operátora - jev obvyklý v halách plných strojů, které i v letních obdobích navyšují teplotu okolí pracovišť (obvykle musí operátor odejít z pracoviště na určené místo pro osvěžení) = 60 s/směnu,
- ❖ čas pro konzultaci s ostatními zaměstnanci - postřehy z ostatních pracovišť, konzultace s mistrem, konzultace s údržbářem, nástrojářem = 180 s/směnu,
- ❖ časy pro úklid pracoviště pro předání směny = 10 min/směnu,
- ❖ čas povinné přestávky zaměstnanců (většinou 30 minut po čtyřech odpracovaných hodinách) = 30 minut / směnu,
- ❖ čas pro možnost operátora odejít na toaletu 10min/ směnu,
- ❖ čas pro uvolnění těla operátora, protažení svalů, možné bolesti - zvláště ke konci směny a obzvláště starší lidé = 60s/směnu,
- ❖ čas vypnutí robota - pokud není využíván na více směnách - pokud zde operátor není, robot nemůže pracovat.

Pokud zvýšíme celkový čas nečinnosti robota o hodnoty lidského faktoru = 55 minut / směnu, tak za celou směnu bude robot v nečinnosti 166,4 minut.

**Robot je za celou jednu osmi hodinovou směnu operátora v nečinnosti 2 hodiny a 46 minut.**

Trojčlenkou vypočítáme nevyužitý čas robotu:

480 min.....100%

166,4 min .....x%

Nevyužití robotu za směnu v procentech:

$$N_R = \frac{166,4 \cdot 100}{480} = 34,7\% \quad (4.4)$$

Celkové využití robotu:

$$V_R = 100 - 34,7 \% = 65,3 \% \quad (4.5)$$

**Využití svařovacího robotu je 65,3% za směnu s operátorem.**

## 4.2 Příprava materiálu člověkem, jeho využití

Člověk v tomto cyklu pracuje jako zásobovač materiálu, stejně tak jako upínač a bezpečnostní zařízení, protože to vše musí ovládat. Zásobování linky se děje dvěma způsoby:

- a) skladníkem, který přemístí materiál pro danou směnu na pracoviště ze skladu
- b) operátorem z předchozí operace, který v případě neschopnosti skladu vyskladňovat doplňuje pracoviště svařování materiálem.

Tyto další negativní časy nejsou započítány do využití, protože ve většině případů funguje sklad tak, jak má.



## 4.3 Bezpečnost na pracovišti

### Bezpečnostní prvky robotické buňky jsou:

- ❖ tlačítka STOP z čela buňky a další u vstupních dveří,
- ❖ bezpečnostní rolety, které chrání organismus operátora při svařování,
- ❖ vymezení pracovního prostoru robotu – software,
- ❖ odvětrávání zplodin od svařování systémem filtrů firmy Nederman,
- ❖ přístup do vnitřních prostor buňky jen seřizovačům – bezpečnostní dveře.

Nedostatkem při hodnocení bezpečnosti je skromný prostor uvnitř buňky pro seřizovače či údržbáře. Při seřizování či čištění uvnitř robotické buňky může docházet k úrazům, kterým je třeba zabránit.

Dále pokud by se ve vnitřním prostoru pracoviště nacházel člověk, po seřízení nebo čištění, není jak detekovat jeho přítomnost či nepřítomnost. Tudíž lidská chyba může vést k fatálním následkům jiné osoby. Pokud se robot spustí, obsluha si musí být jistá, že uvnitř buňky se nikdo nenachází.

### Bezpečnost ŘJ ROBOTU:

- ❖ bezpečnostní a nouzové vypínače,
- ❖ dvojité bezpečnostní obvody s řízením,
- ❖ třípolohové aktivační zařízení,
- ❖ kontrola elektrického proudu na pohonech - detekce kolize.

Jeden problém celé linky je nedostatečné využití operátora na pracovišti u ohýbacího stroje (operace před bodováním). Operátor má za úkol zásobovat stroj rovnými polotovary, zkontrolovat ve tvarové maketě správné ohnutí trubky a založení do bedny. Poté následuje mírný prostoj, který by bylo možné využít.

## 5 Řešení problémů

Jelikož není povoleno použít druhý robot místo člověka, musí se řešení ubírat jiným směrem. Z důvodu řešení několika různých problémů současně, zde nejsou uvedeny varianty řešení jednotlivých problémů svařovací buňky. Jsou zde uvedeny návrhy, jak zrealizovat změny, které vyřeší zjištěné problémy.

### 5.1 Řešení problémů bezpečnostního charakteru

Z důvodu nedostatku místa uvnitř buňky pro seřizování strojů a přístrojů a údržby celé buňky byly navrženy druhé vstupní dveře. Ty jsou navrženy tak, aby nevadily pracovnímu cyklu celku. Dveře mají samozřejmě také čidlo, které nespustí pracovní cyklus, pokud jsou otevřené.

Problémy při seřizování, kdy jsou zavřené dveře (někdo jiný může robot spustit) byl vyřešen tím, že uvnitř buňky byl navržen laserový skener firmy SICK spol. s.r.o., konkrétně senzorová hlava typ S3000. Senzorová hlava se nachází pod skluzem chladicího stolu uvnitř buňky. Více informací v příloze 8.7.



**Obr. 24 Senzorová hlava SICK S3000 [19]**

Technické parametry:

- ❖ Volně konfigurovatelná ochranná a varovná pole
- ❖ Volitelné rozlišení pro detekci rukou, nohou nebo těla
- ❖ Možný výstup naměřených dat

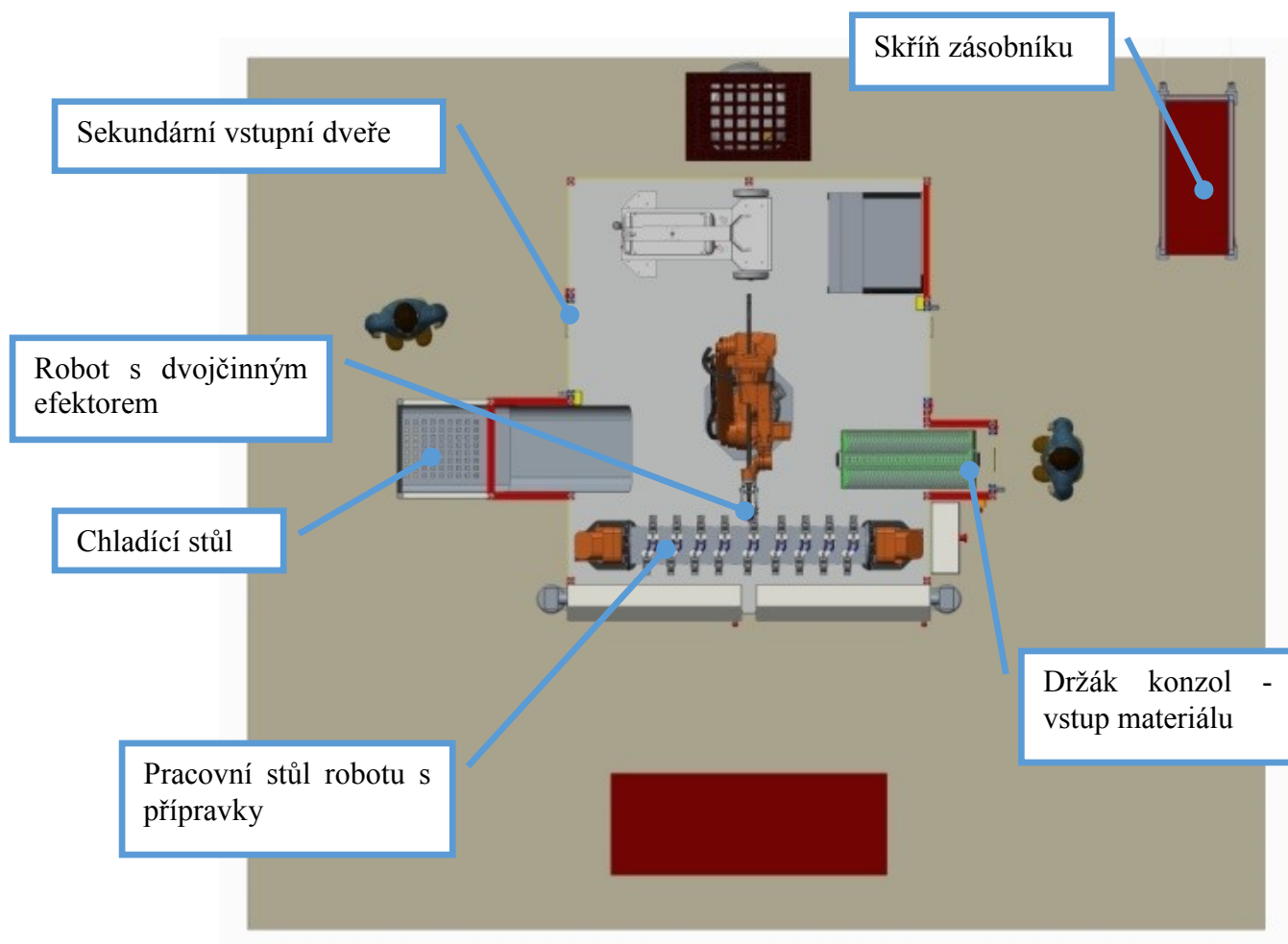
**Tab. 5.1 Technické parametry S3000**

Dosah ochranného pole	1m až 7m
IP Krytí	IP 65
Provozní okolní teplota	-10°C až 50°C
Rozměry	155 x 185 x 160 mm
Hmotnost	3,3 kg
Úhel snímání	190°
Dosah ochranného pole	4 m
Napájecí napětí	24 V DC

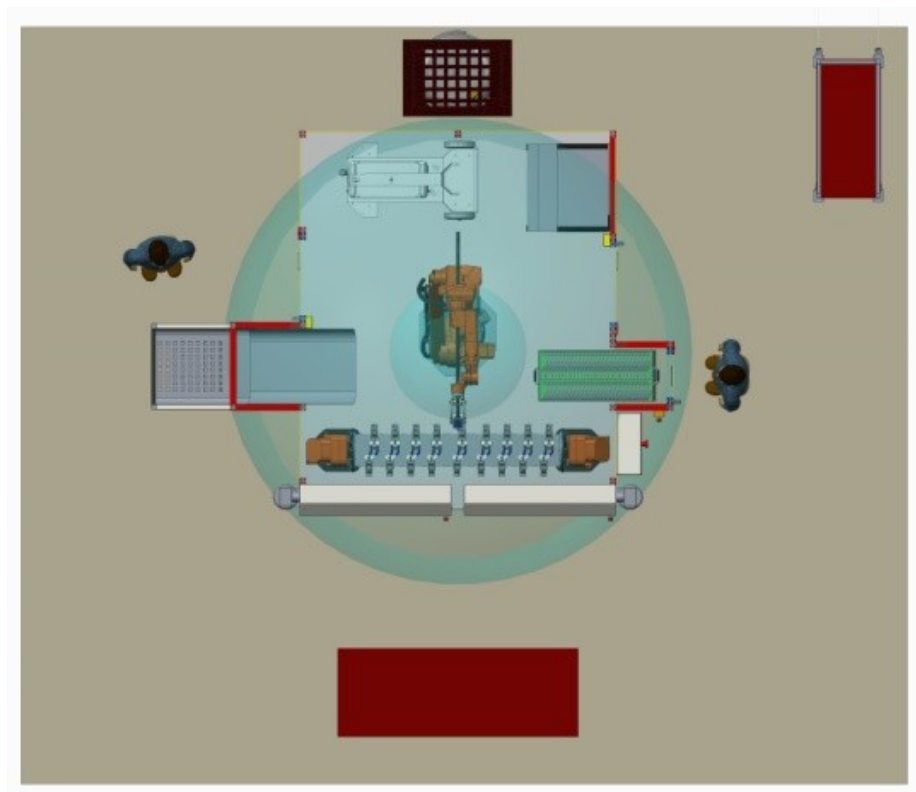
## 5.2 Řešení samotného procesu svařování

Bylo nutné odstranění člověka ze samotného procesu svařování. Navržené řešení využívá místo skládání polotovarů sestavy člověkem efektor robotu, který má na jednom svém konci chapadlo pro uchycení trubky i plechu. Robot si tak podává polotovary sám. Polotovary jsou umístěny v plastovém zásobníku, který je zasunut do pracovního prostoru robotu. Materiál na vstupu je nutné samozřejmě dodávat, proto na předchozím pracovišti ohýbacího stroje nebude operátor vkládat naohýbané trubky do bedny, nýbrž do zásobníku, který má tvarování pro zachycení potřebných dílů pro robot a jednou za čas zásobník robotu vymění. Čas potřebný pro výměnu bude vypočítán.

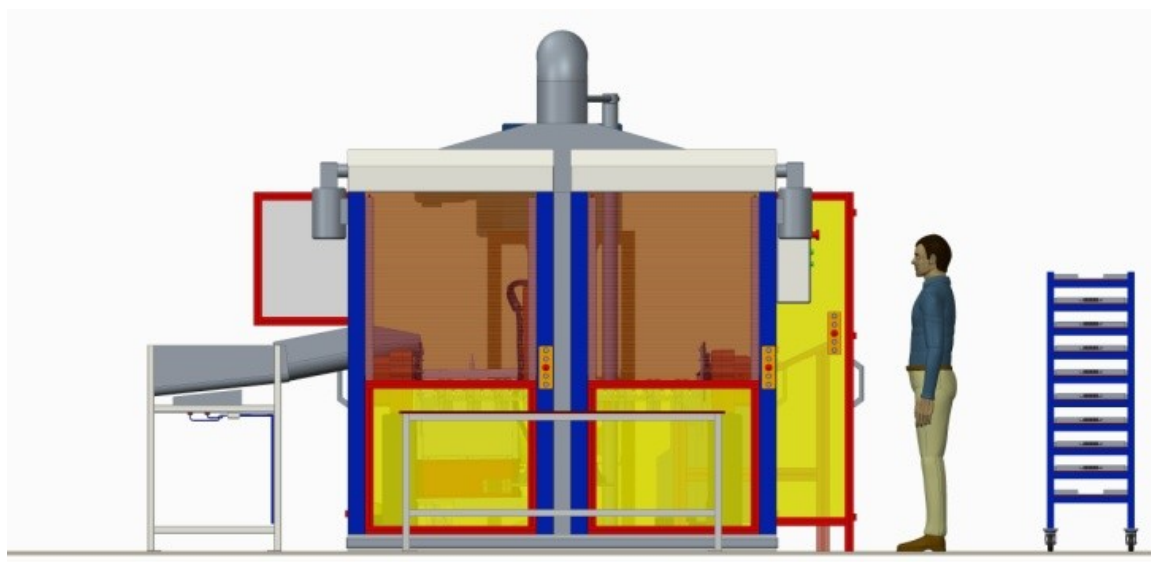
### 5.2.1 Představení upravené buňky



Obr. 25 Půdorysný obrázek nového pracoviště



**Obr. 26 Ukázka pracovního dosahu robotu ABB IRB 2600ID**



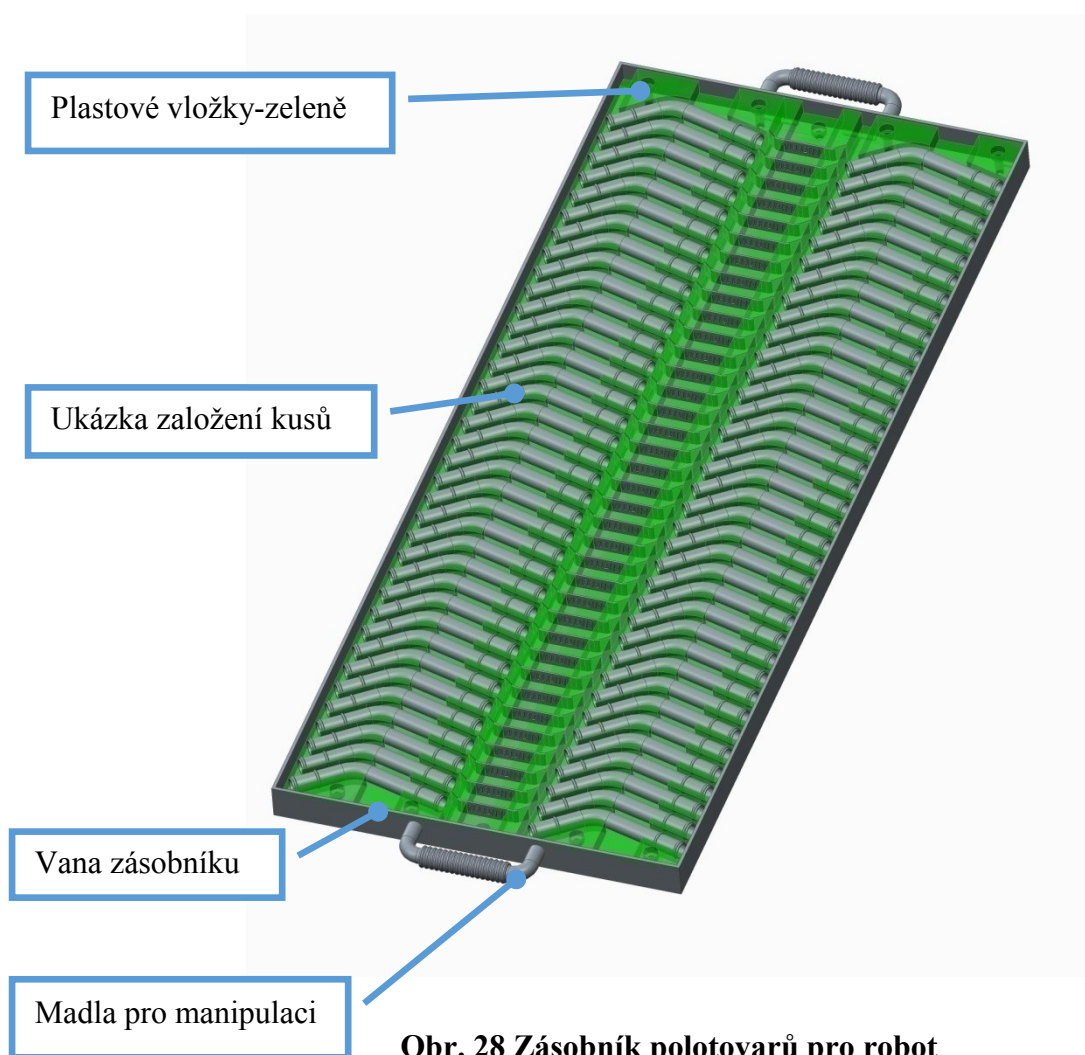
**Obr. 27 Čelní pohled nové buňky, rolety jsou v pracovním cyklu staženy**

### 5.2.2 Zásobník

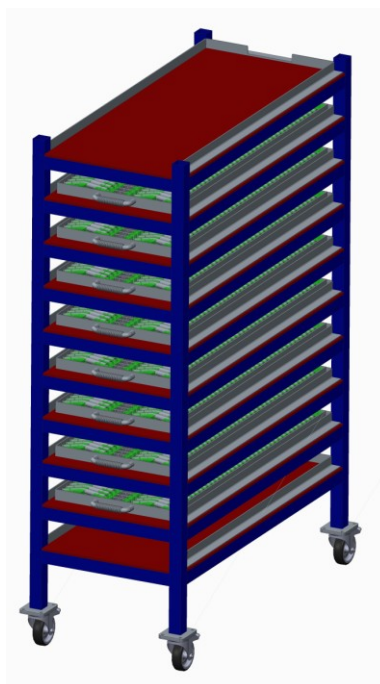
Zajišťuje přísun polotovarů na začátek procesu bodování.

Zásobník má plechovou schránku s madly a uvnitř jsou vloženy plastové makety, které drží polotovary uvnitř. Makety jsou šrouby upevněny ke spodní desce zásobníku šrouby. Materiál maket byl zvolen Murtfeldt. Ten má dostatečnou teplotní výdrž a tvrdost. Zároveň je jeho povrch kluzký, a tak nedojde k drhnutí trubek při jejich manipulaci. Více o materiálu v Příloze č. 8.5.

Celá zásobník i s výrobky váží 25,8 kg.



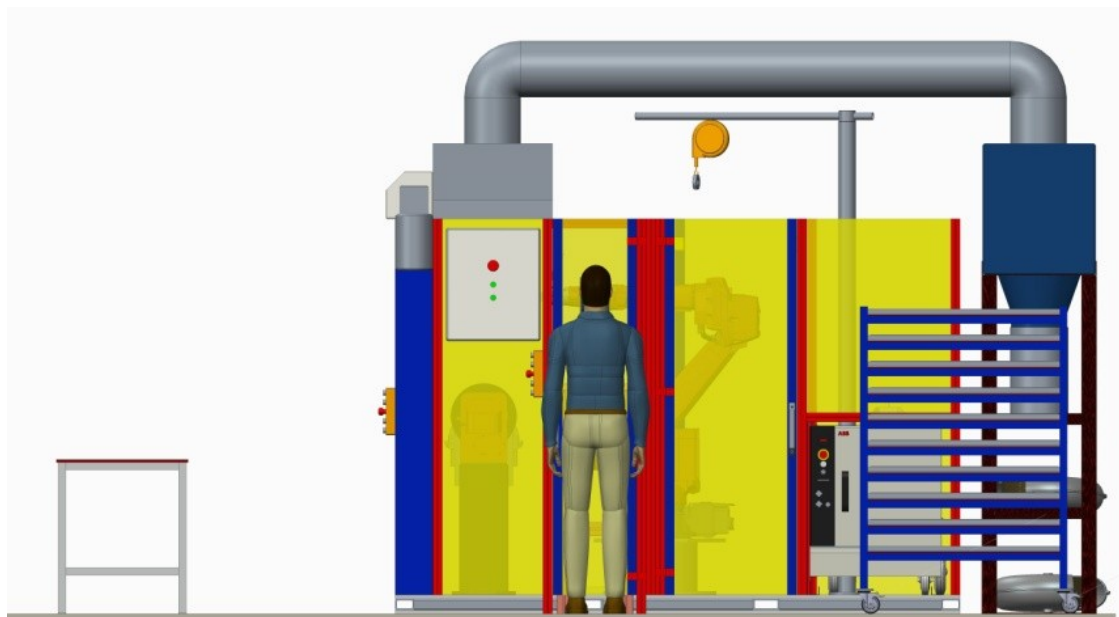
Na pracovišti je dále navržena skříň zásobníků. Ta slouží k shromažďování plných zásobníků, či prázdných, připravených k plnění. Polotovary pro bodování jsou částečně dodávány z předchozí operace a částečně ze skladu.



**Obr. 29 Zásobníková skříň**



**Obr. 30 Pohled na vstup zásobníku do buňky. Operátor stojí před dveřmi stojanu zásobníku**



**Obr. 31 Boční pohled na vstup materiálu**

### **5.2.3 Efektor**

Tento efektor slouží jak ke svařování, tak pro manipulaci s jednotlivými polotovary a výrobkem. Bodovací část tvoří hubice TIG svařování. Hubice nemá možnost zapojení přídavného materiálu a slouží pouze k bodování a pouze pro tuto operaci svařovací buňky. Manipulační část tvoří uchopovací modul na hliníkové nástavbě. Modul je od firmy Shunk, a to konkrétně model MPG 40 zvolený dle uchopovací síly a rozměrů otevření čelistí. Tento modul se napojí na stlačený vzduch, který je v celé hale přístupný. Více informací v příloze 8.8.



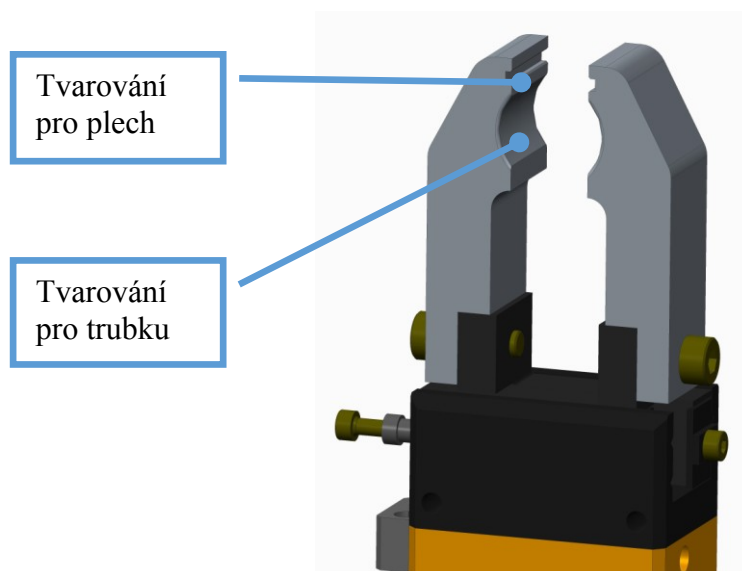


Obr. 32 Shunk MPG40 [17]

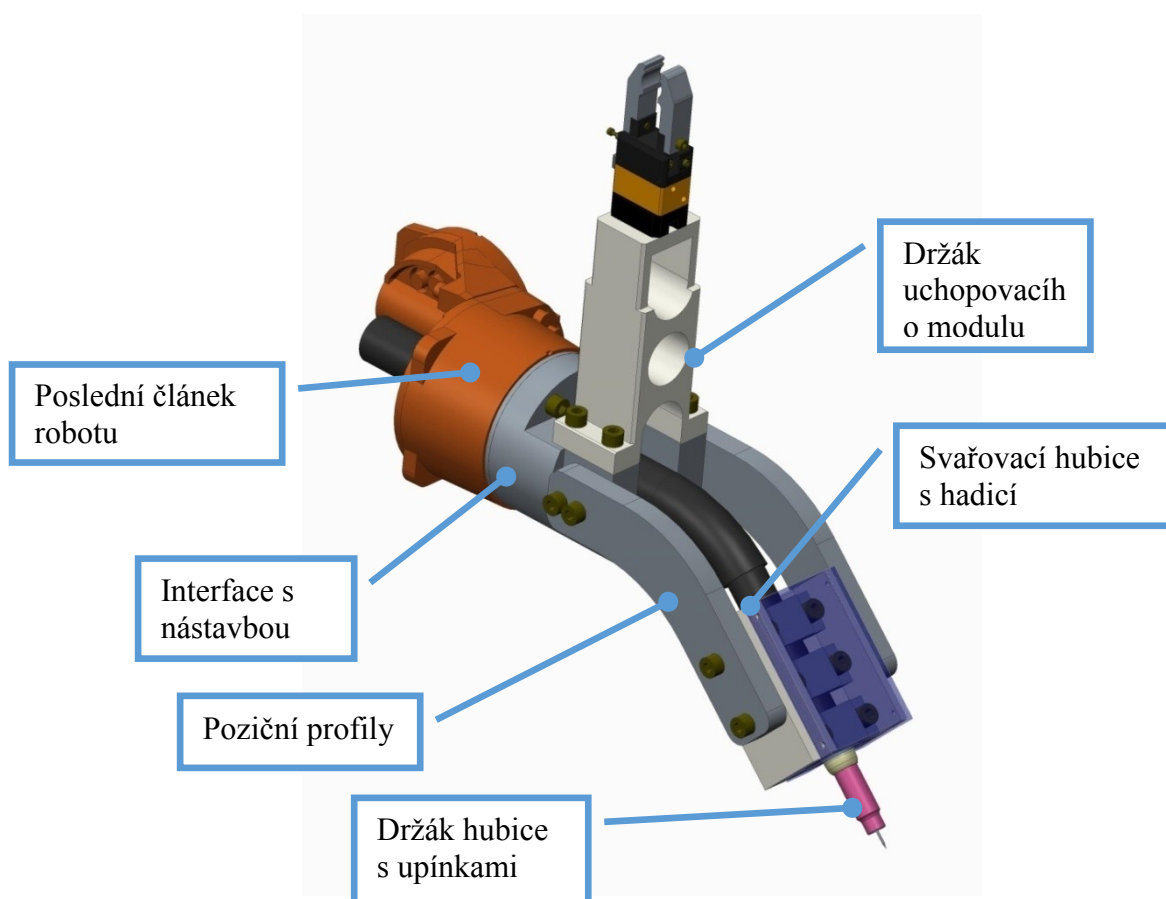
Tab. 5.2 Technická data uchopovacího modulu MPG40

Otevření čelisti	6 mm
Uzavírací síla	110 N
Otevírací síla	90 N
Váha modulu	0,2 kg
Maximální hmotnost objektu manipulace	0,55 kg
Čas otevření / Čas zavření	0,05 s
Stupeň krytí	IP 30
Přesnost polohování	0,052 mm

Na modul jsou přišroubovány čelisti s tvarovým vybráním tak, aby bylo možné dostatečně uchopit trubku i plech. Modul je připevněn na hliníkové základně. Základna je přišroubovaná na konstrukci svařovací hubice.



**Obr. 33 Ukázka vytvarování čelistí**



**Obr. 34 Efektor s posledním článkem robotu, svařovací hubicí a uchopovacím modulem**

Celková váha efektoru je 9,43 Kg. Tudíž robot jej bez problémů unese. V této hmotnosti není započítaná hmotnost kabeláže, ale tu můžeme v tomto případě zanedbat.

### Upínací síla efektoru

Obecné vztahy z kinematiky nám pomůžou s výpočtem upínací síly. V případě upínací síly volíme pohyb, kdy robot vyjímá výrobek z přípravku po bodování. Rozložíme si pohyb do složek zvedání výrobku, rotace a odložení. Pro jednotlivé části využijeme příslušné vzorce. Zároveň můžeme vypočítat i celkový čas přenesení výrobku ze svařovacího přípravku na rampu chladičího stolu.

### Pohyb vzhůru s výrobkem

**Tab. 5.3** Potřebné základní číselné údaje:

Výška zdvihu	s=0,3 m
Poloměr zdvihání	r =1600 mm
Zrychlení koncového bodu robotu	a = 3 ms <sup>-2</sup>

Nyní využijeme rovnice pro rovnoměrně zrychlený pohyb:

$$v = a \cdot t \Rightarrow t = \frac{v}{a} \quad (5.1)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (5.2)$$

$$\Rightarrow s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{v^2}{a^2} \quad (5.3)$$

Nyní provedeme úpravu pro vytknutí rychlosti

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot a \cdot s_1} = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 0,3} = 1,342 \text{ ms}^{-1} \quad (5.4)$$

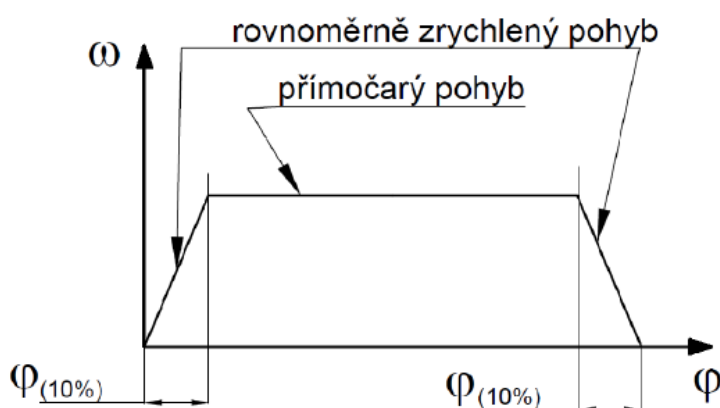
Jakmile jsme vypočítali  $v_1$  můžeme dopočítat čas, za který robot vykoná pohyb vzhůru.

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{1,342}{3} = 0,45 \quad (5.5)$$

### Rotace koncového bodu s výrobkem

Druhým pohybem je rotace okolo první osy robotu a klesání s výrobkem. Tento pohyb si rozložíme na jednotlivé pohyby a počítáme každý samostatně.

V technických datech robotu, které máme k dispozici, není hodnota zrychlení os robotu, budeme tedy vycházet z maximální možné rychlosti pohybu. Dále si zvolíme zrychlení a zpomalení při tomto pohybu. Předpoklad je takový, že robot zrychluje a zpomaluje na 10% délky dráhy.



Obr. Průběh pohybu otočení robotu [4]

Tab. 5.4 Vztahy pro výpočty rotace s koncovým bodem

Dráha rotace	$\varphi = 90^\circ = \pi rad$
Zrychlení a zpomalení na dráze	$\Rightarrow \varphi_{10\%} = 0,1 \pi rad = 0,314 rad$
Maximální úhlová rychlost rotace	$\omega = 175 \text{ } ^\circ/s = 3,054 rad/s$
Délka ramene rotace	$r_1 = 1,6 m$

Pro rovnoměrně zrychlený rotační pohyb známe základní vztahy.

$$\omega = \varepsilon \cdot t \quad (5.6)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot t^2 \quad (5.7)$$

Po dosazení získáváme vzorec pro výpočet úhlového zrychlení první osy robotu.

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{\omega^2}{2\varphi} = \frac{\omega^2}{2\varphi_{10\%}} = \frac{3,054}{2 \cdot 0,314} = 4,863 \text{ } rad s^{-1} \quad (5.8)$$

Dále vypočítáme ze známých vztahů tečné a normálové zrychlení

$$a_t = \varepsilon \cdot r_1 = 7,78 \text{ } ms^{-2} \quad (5.9)$$

$$a_n = \omega^2 \cdot r_1 = 14,92 \text{ } ms^{-2} \quad (5.10)$$

Na konec výpočet času rotace s výrobkem

$$t_2 = \frac{\omega}{\varepsilon} = \frac{3,054}{4,863} = 0,63s \quad (5.11)$$

### Pohyb dolů

Pohyb dolů je součástí druhého již zmíněného pohybu. Po výpočtu tohoto pohybu můžeme pohyb rotace a pohybu dolů sečíst, abychom získali výsledné parametry.

**Tab. 5.5 Údaje pro výpočet pohybu dolů**

<b>Celkové zrychlení</b>	<b><math>a = 3ms^{-2}</math></b>
<b>Úhel sklonu poslední osy při klesání</b>	<b><math>35^\circ</math></b>
<b>Dráha pohybu dolů</b>	<b><math>s_3 = 0,6 \text{ } m</math></b>
<b>Bezpečnostní koeficient</b>	<b><math>K = 4</math></b>
<b>Součinitel tření plast-ocel</b>	<b><math>\mu = 0,3</math></b>

Celkové zrychlení rozložíme do složek os x a os y.

$$a_x = a \cdot \cos 35 = 2,457 \text{ ms}^{-2} \quad (5.12)$$

$$a_y = a \cdot \sin 35 = 1,721 \text{ ms}^{-2} \quad (5.13)$$

Dalším výpočtem je maximální rychlost při pohybu kolmo k zemi.

$$v_3 = \sqrt{2as_3} = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 0,6} = 1,897 \text{ ms}^{-2} \quad (5.14)$$

A z této rychlosti nyní vypočteme čas pohybu dolů.

$$t_3 = \frac{v_3}{a} = \frac{1,897}{3} = 0,63 \text{ s} \quad (5.15)$$

Nyní hodnoty obou pohybů sečteme.

$$a_{2x} = a_n + a_x = 14,92 + 2,457 = 17,377 \text{ ms}^{-2} \quad (5.16)$$

$$a_{2y} = a_y = 1,721 \text{ ms}^{-2} \quad (5.17)$$

$$a_{2z} = a_t = 7,78 \text{ ms}^{-2} \quad (5.18)$$

$$t_{23} = t_2 + t_3 = 0,63 + 0,63 = 1,26 \text{ s} \quad (5.19)$$

Čas celkové manipulace:

$$t_c = t_1 + t_{23} = 0,45 + 1,26 = 1,71 \text{ s} \quad (5.20)$$

Všechny vypočítané hodnoty nyní využijeme k výpočtu uchopovací síly, která je nutná k udržení objektu manipulace.

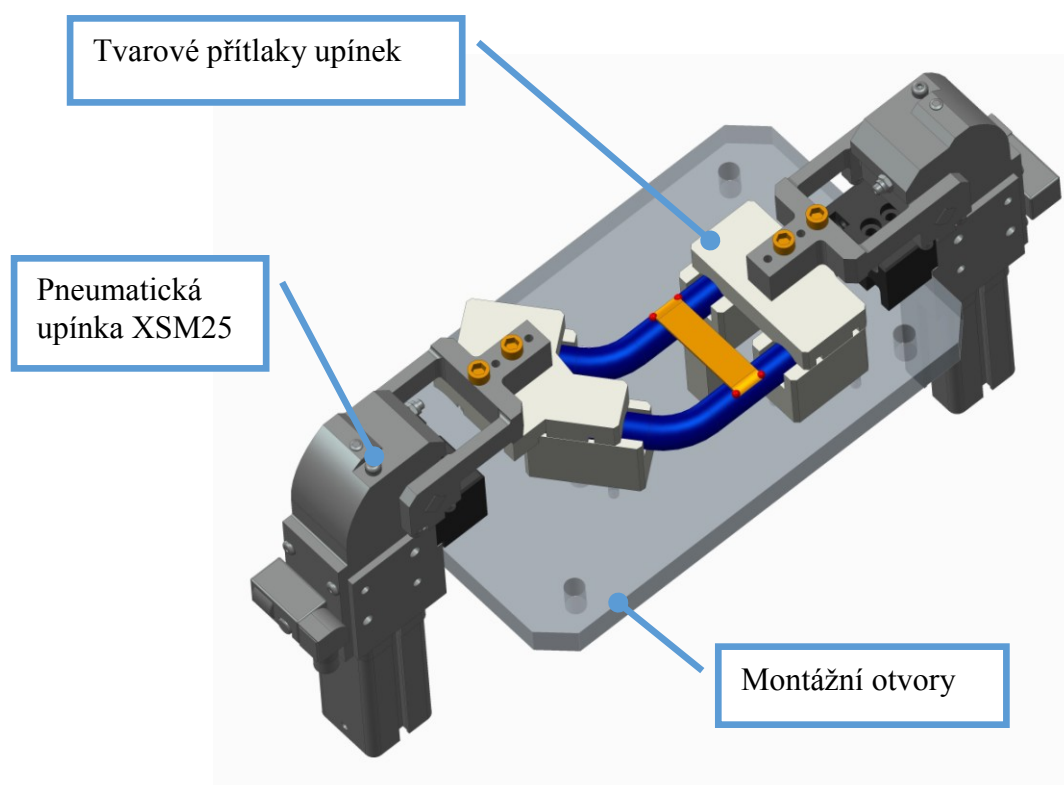
$$Fu = k \cdot m \left[ a_{x \max} + a_{y \max} \cdot \left( \frac{1}{2\mu} \right) + a_{z \max} \cdot \left( \frac{1}{2\mu} \right) \right] \quad (5.21)$$

$$Fu = 4 \cdot 0,131 \left[ 17,377 + 3 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot 0,3} \right) + 7,78 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot 0,3} \right) \right] = 18,52 \text{ N} \quad (5.22)$$

**Celková nutná upínací síla ramen pro manipulaci s výrobkem, objektem manipulace, je 18,52 N. Za těchto okolností zvolíme uchopovací modul.**

## 5.2.4 Úprava procesu bodování

Poté, co je založen zásobník s výrobky, je předán signál z indukčního snímače na držáku zásobníku řídicí jednotky robotu. Robot si uchopovacím modulem přesune trubky a plechy do devíti svařovacích přípravků. Svařovací přípravky mají pro ustavení trubek pneumatické upínky. Jakmile se do přípravku založí dvě trubky, upínače se zavřou.



**Obr. 35 Svařovací přípravek**

### **Pneumatická upínka XSM25**

Použitá pneumatická upínka je od firmy Sandfield SEC. Upínka zde pracuje jako držák trubek při bodovacím procesu. Vždy když je třeba založit komponenty, upínka se otevře a po založení uzavře. Pracuje při vstupním tlaku 5 barů, tudíž je možné ji napojit na řád stlačeného vzduchu firmy, který je 6 barů.



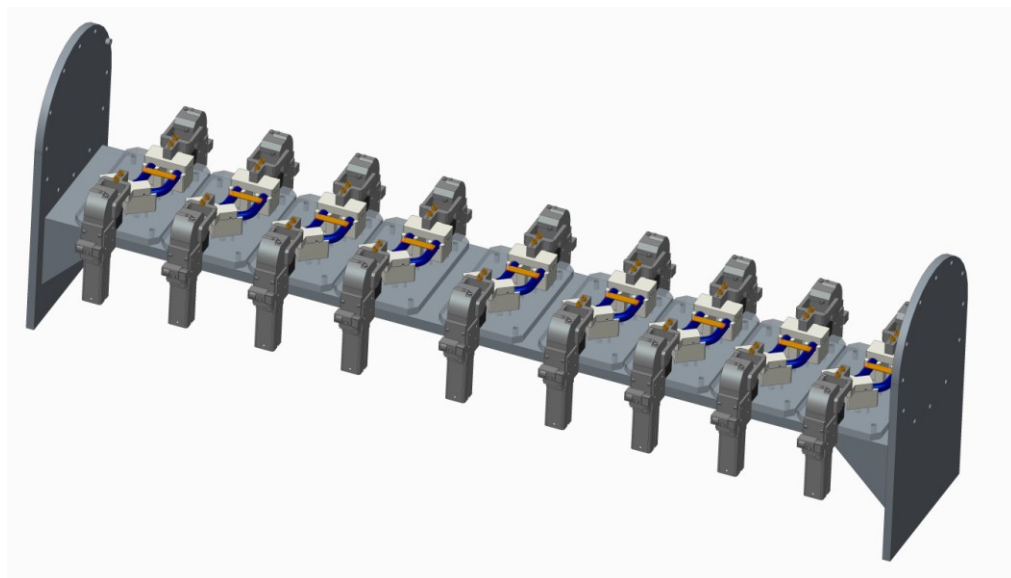
**Obr. 36 Upínka Sandfield Engineering Company**

**Tab. 5.6 Technické informace upínky**

Upínka XSM25:	Hodnota:
Normální pracovní tlak	5 bar
Váha upínky	1,4 Kg
Maximální úhel otevření	105°
Krouticí moment při 5 barech	30 Nm

Více informací v příloze 8.4.





**Obr. 37 Svařovací stůl s přípravky**

Jakmile je připraveno všech devět přípravků, robot započne bodovat. Jakmile skončí s posledním výrobkem, začne robot sestavy přemísťovat na skluz, který se nachází na opačné straně buňky než zásobník. Rolety buňky jsou uzavřeny po celou dobu operací všech směn a lze je využívat už jen např. pro aktualizaci a seřizování pohybů robotu.

### **5.3 Kontrola upínacích šroubů na polohovadlech**

Po navržení většího stolu pro svařovací přípravky a navržení nových pneumatických přípravků je nutné zkontrolovat, zda stůl bude bezpečně upevněn k polohovadlům. Spojení je realizováno 24mi šrouby pevnostní třídy 8.8. Označení šroubu M8.

Masivně narostla hmotnost pracovního stolu, polohovadlo má však nosnost 300 kg, a tudíž navýšení hmotnosti nijak neovlivní možnou rotaci stolu.

### 5.3.1 Kontrola šroubů na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{s\,dov} \quad (5.23)$$

$$\text{Volím } \tau_{Dov} = 180 \text{ MPa}$$

$$F = m \cdot g = 187,1 \cdot 9,81 = 1835,451 \text{ N} \quad (5.24)$$

$$\tau_s = \frac{F}{24 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1835,451}{24 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0065^2}{4}} = 2\,304\,702 \text{ Pa} = 2,3 \text{ MPa} \quad (5.25)$$

**Kontrola na střih vyhovuje**

### 5.3.2 Nový výpočet využití robotu v upravené buňce

Po úpravě robotické linky dojde k odstranění lidských faktorů, a tím navýšení procent využití robotu. Nová linka nyní využívá na vstupu operátora z předchozí operace. Ovšem lze využívat i stávajícího operátora s tím, že jeho aktivita bude pouze na vstupu a to výměna zásobníku pro robot. Samotný proces svařování již bude robot provádět sám. Nyní se musí spočítat, zda úprava pomohla k navýšení počtu hotových výrobků ze svařovací buňky.

**Tab. 5.7 Časy jednotlivých pohybů robotu:**

Manipulace s trubicí do svařovacího přípravku	4 s
Přejezd od přípravku k zásobníku	1 s
Manipulace s plechem do přípravku	4 s
Bodování jednoho přípravku	14 s
Přejezd od přípravku k dalšímu	2 s
Vyjmutí hotové sestavy na chladicí stůl	3 s
Otočení efektoru po manipulaci	1 s

Celkový čas pro výrobu 9 kusů sestav:

Počítáme vždy 9 sestav, tzn. 9x sestavení všech komponent do přípravků, 9x bodování a přidáváme sekundu navíc pro zavření přípravku a jako poslední 9x přesunutí přípravku na chladicí stůl a sekunda navíc pro otevření přípravku.

$$T_9 = 9 \cdot (1 + 4 + 1 + 4 + 1 + 4) + 9 \cdot (14 + 1) + 9 \cdot (3 + 1)$$

$$T_9 = 9 \cdot 15 + 9 \cdot 15 + 9 \cdot 4$$

$$T_9 = 306 \text{ s}$$

Robot vytvoří 9 kusů výrobků za 306 s. Spotřebuje přitom polovinu kapacity zásobníku.

Nyní vypočítáme, kolik sestav dokázala vytvořit za směnu původní buňka obsluhovaná operátorem:

Jeden hotový výrobek:

$$T_1 = 6 + 16 + 4 + 6 = 32 \text{ s}$$

9 hotových výrobků:

$$T_9^{přv} = T_1 \cdot 9 = 32 \cdot 9 = 288 \text{ s} \quad (5.26)$$

Abychom mohli porovnat provedenou změnu, musíme použít využití robotu operátorem. Aktuální využití robotu je 65,3%. Nyní provedeme výpočet pro nové využití robotu. Jelikož odpadá lidský faktor, lze zde zahrnout pouze přestávku pro operátora, která je 30 minut/ směnu. Tzn. robot bude v činnosti 7,5 hodiny za směnu. Využití tedy vychází:

$$480 \text{ min} \dots \dots \dots 100\%$$

$$450 \text{ min} \dots \dots \dots x \%$$

$$V_R^{nove} = \frac{450 \cdot 100}{480} = 93,75 \%$$

Využití robotu po změně je 93,75 %. Nyní zjistíme pracovní čas každé linky tak, že vynásobíme koeficientem pro využití robotu počtem minut za směnu.

Pracovní čas původní buňky:

$$T_S^{P\grave{u}v} = 0,653 \cdot 480 = 313,4 \text{ min}$$

Pracovní čas upravené buňky:

$$T_S^{Upr} = 0,938 \cdot 480 = 450,24 \text{ min}$$

Nyní přepočítáme pracovní časy každé buňky na sekundy. Výsledný čas podělíme časem na devět trubek a zjistíme, kolik sestav celkově každá buňka vyrobí.

Počet vyrobených trubek původní buňkou:

$$P_{V\acute{y}r}^{P\grave{u}v} = \frac{313,4 \cdot 60}{\frac{288}{9}} = \frac{18804}{32} = 587,63 \text{ trubek}$$

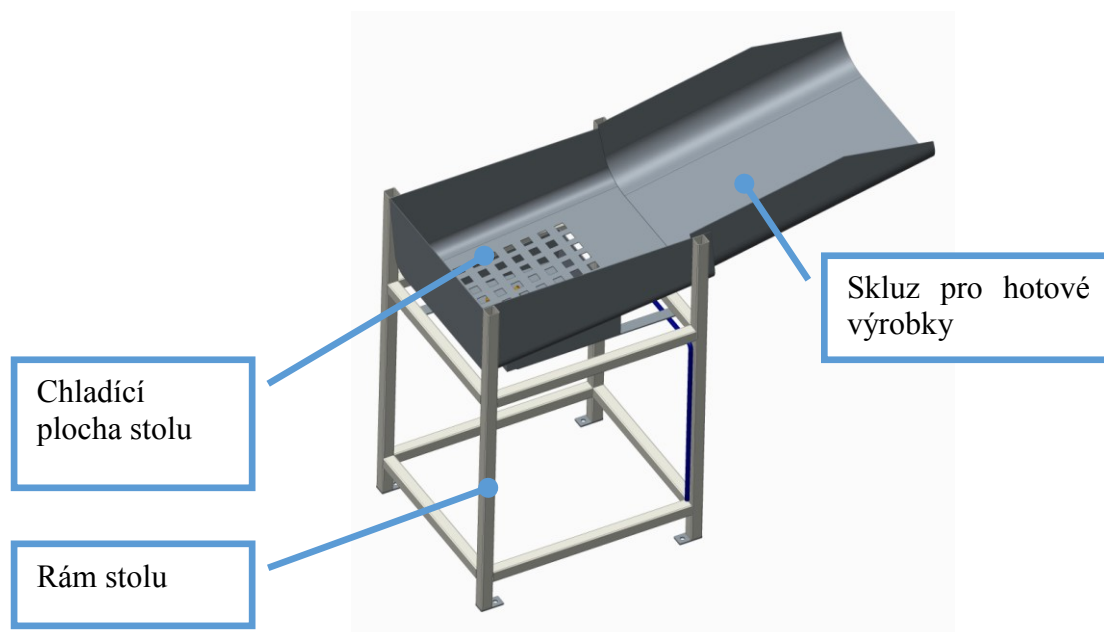
Počet trubek nové buňky:

$$P_{V\acute{y}r}^{Nov} = \frac{450,24 \cdot 60}{\frac{306}{9}} = \frac{25214,4}{34} = 741,6 \text{ trubek}$$

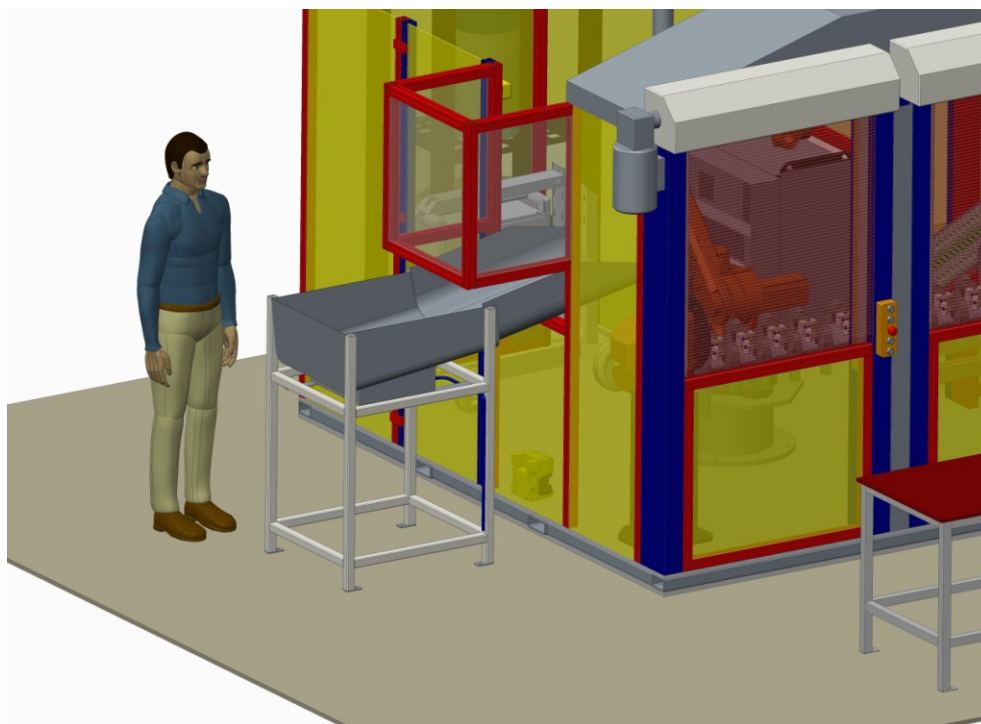
**Zde máme vypočítáno, že za pomoci navržených úprav dokážeme vyrobit ve svařovací buňce o 154 kusů výrobků více. Produktivita v tomto případě stoupla o 26,2%.**

### 5.3.3 Výstup hotového výrobku

Po skluzu se výrobek dostane na chladicí stůl. Tam se pomocí stlačeného vzduchu ochladí, aby jej mohl pracovník z olejové lázně vzít do ruky a pracovat s ním. Chladicí stůl je v takové pozici, že jej může obsluhovat operátor dalšího technologického kroku (olejové lázně). Velikost chladicího stolu je navržena dostatečně tak, aby na něm nebyl problém s hromaděním výrobků.



**Obr. 38 Chladicí stůl**



**Obr. 39 Pozice stolu u svařovací buňky**



**Obr. 40 Boční pohled na výstup buňky, chladicí stůl**

## 6 Závěr

Úkolem diplomové práce bylo zajistit, aby byl při procesu bodování linky eliminován člověk, a aby se zvýšilo využití robotu. Výrobkem je soustava dvou trubek a plechu, které jsou využívány v klimatizačních jednotkách automobilů. Dále se řešily chyby ohledně bezpečnosti na pracovišti.

V druhé kapitole je uveden požadavkový list, který shrnuje úkoly a podmínky další práce. Další kapitola potom představuje aktuální buňku, která se nachází na pracovišti. Buňka obsahuje robot ABB IRB2600ID, který za pomoci svařovací hubice boduje komponenty k sobě. Uvnitř buňky se také nachází řídicí jednotka robotu a svařovací agregát pro samotnou technologii výroby. Zároveň je zde i stojan, který drží kabeláž robotu, na stojanu je naviják s pružinou, který tuto kabeláž drží. V poslední řadě se uvnitř buňky nachází dvě polohovadla ABB L300, která každé nesou jeden svařovací přípravek. Jelikož buňka má dvě pracovní okna, je zde jeden přípravek na každé okno. Obsluhu zařízení tvoří jeden operátor, který zakládá komponenty do svařovacího přípravku a poté ručně spouští proces bodování. Pro operátora je před buňkou postaven stůl s bednami. Ve dvou bednách se nachází komponenty a třetí bednu operátor plní hotovými kusy.

V diplomové práci je uveden výpočet pro využití robotu takto navrženého technologického postupu. Technologický postup samotný můžeme vidět v Tab. 3.3. Zároveň je zde uvedeno, kolik času je robota nevyužíváno díky lidskému faktoru. Využití robotu stávající linky je 65,3%. Čas, který se nevyužívá robot je 2 hodiny a 46 minut za celou směnu.

V navrženém řešení v další kapitole tudíž nechybí výpočet pro porovnání tohoto využití robotu. Většina pasivního času je řešením odstraněna a dostáváme se tím k využití robotu 93,75%. Celkový čas nevyužívání robotu je v tomto případě 30 minut za směnu, což je klasická přestávka operátora dle zákona č.262/2006 Sb., zákoníku práce. Navržené řešení je zde představeno.

Problém s využíváním vnitřních prostor seřizovači při chodu robotu byl odstraněn navrženou laserovou hlavou, která snímá vnitřní prostory buňky.

Nedostatečné místo v buňce pro údržbu a úklid bylo vyřešeno vytvořením dalších vstupních dveří z opačné strany, než jsou stávající.

Použité řešení využívá systém zásobníků, které doplňuje operátor. Dostatek zásobníků má operátor ve skříni, která se nachází hned vedle buňky. Bylo vytvořeno zvláštní okno se dveřmi, kterými operátor zakládá zásobník do nitra buňky. Pro rozpoznání jsou dveře opatřeny senzorem. Tak robot pozná, když operátor zásobník mění a pozastaví svou činnost. Dále je na stojanu zásobníku uvnitř buňky indukční čidlo, které ověřuje správnou pozici zásobníku na stojanu.

Dále má robot k dispozici nový pracovní stůl s devíti svařovacími přípravky, které mají pneumatické upínače, není zde potřeba člověka pro upnutí. Robot má nově navržený dvojčinný efektor, kterým lze manipulovat s komponenty, a zároveň později svařovat.

Na druhé straně buňky je navržen chladicí stůl se skluzem, kam robot po bodování odkládá hotové výrobky. Výrobky se pomocí skluzu dostanou na stůl, který je ze spodní strany chlazen stlačeným vzduchem a nízké teplotě, chladí se proto, aby výrobky mohl odebírat operátor dalšího technologického stanoviště vedle svařovacího boxu a to je pracoviště olejové lázně.

Nově navržený technologický postup je takový, že operátor založí zásobník na stojan, jakmile uzavře dveře, robot si uchopovacím systémem na efektoru naskládá všech devět sestav komponent do svařovacích přípravků a poté začne proces bodování.

Jakmile je proces ukončen, odkládá hotové výrobky na skluz. Odtud už si je přebírá pracovník olejové lázně.

Práce obsahuje namodelované pracoviště jak původní, tak i navrhované řešení. Dále je navržen nový efektor, ke kterému je uveden výpočet uchopovací síly tak, aby dokázal přemístit celý výrobek. Kontrola byla provedena také pro nosnost robotu a upnutí pracovního stolu robotu k polohovadlům, které pro robot natáčí stůl v jedné ose. Dále jsou k práci přiloženy výkresy dispozic jednotlivých pracovišť, výkres sestavy výrobku, výkres sestavy efektoru a dva výrobní výkresy dílů efektoru. V přílohách se pak nachází veškeré technické informace k použitým strojům a přístrojům.



# 7 Použitá literatura

## Knihy, odborná literatura

- [1] BURKOVÍČ, Jan. *Navrhování RTP*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2002, 112 s. ISBN 80-248-0217-1.
- [2] BURKOVÍČ, Jan. *Projektování a provoz RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 113 s. ISBN 80-248-0709-2.
- [3] BURKOVÍČ, Jan. *Mechanizace a automatizace výrobních zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003, 117 s. ISBN 80-248-0513-8.
- [4] KUNC, Dalibor. *Návrh koncového efektoru průmyslového robotu pro manipulaci s výrobkem*. Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 55 s. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.
- [5] SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012, 224 s. ISBN 978-80-248-2613-4.

## Elektronické zdroje

- [6] ABB.COM. *IRB 2600ID [online]*. ABB.com [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600id>
- [7] ABB.CZ. *Polohovadla obrobků [online]*. ABB.CZ [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC100715.aspx?country=CZ>.
- [8] ABB.COM. *IRC5 [online]*. ABB.COM [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>.
- [9] BLICKLE. *Kola a kladky se vstřikovaným běhounem z polyuretanu [online]*. BLICKLE.CZ [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.blickle.cz/cz/kola-a-kladky-se-vstrikovanim-behounem-z-polyuretanu/produkty-cz/LE-PATH-100G-FI/>.

- [10] CLOOS ROBOTIC WELDING INC. *QIROX® Compact Cells [online]*. Cloosrobot.com [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://cloosrobot.com/products/pre-engineered-robot-systems/qirox-compact-cells/>
- [11] COMMONS CREATIVE. *Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu [online]*. Cs.wikipedia.org [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD\\_netav%C3%ADc%C3%AD\\_se\\_elektrodou\\_v\\_ochrann%C3%A9\\_atmosf%C3%A9%C5%99e\\_inertn%C3%ADho\\_plynu&redirect=no](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_netav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9%C5%99e_inertn%C3%ADho_plynu&redirect=no)
- [12] FRONIUS INTERNATIONAL. *Magic Wawe 4000 [online]*. Fronius International [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-1B6555E3-B816E099/fronius\\_international/hs.xsl/79\\_9115\\_ENG\\_HTML.htm#.VVTaYfntlBd](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-1B6555E3-B816E099/fronius_international/hs.xsl/79_9115_ENG_HTML.htm#.VVTaYfntlBd)
- [13] HABERKORN ULMER S.R.O. *Systém hliníkových profilů [online]*. Haberkorn.cz [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/system-hlinikovych-profilu/>
- [14] MURTFELDT. *Originální Materiál "S" zelený® / přírodní [online]*. MURTFELDT.CZ [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.murtfeldt.cz/produkty/materialy/technicke-materialy-1/originalni-material-s-zeleny-prirodni/>
- [15] NEDERMAN HOLDING AB. *Filtrační jednotka FD s plochými vložkami [online]*. Nederman.cz [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.nederman.cz/products/bag-filters/pulse-jet-cleaning/fd-flat-bag-dust-collector-reverse-pulse>
- [16] SANDFIELD ENGINEERING COMPANY. *Flat base adjustace arm vertical action toggle clamps [online]*. Sandfield engineering company [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.sandfieldengineering.com/c/toggle\\_clamps/heavy\\_duty\\_vertical\\_action/standard/flat\\_base\\_adjustable\\_arm1](http://www.sandfieldengineering.com/c/toggle_clamps/heavy_duty_vertical_action/standard/flat_base_adjustable_arm1)

- [17] SCHUNK GmbH & Co. *2-Finger Parallel Grippers [online]*. *US.schunk.com* [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.us.schunk.com/schunk/schunk\\_websites/products/products\\_level\\_3/product\\_level3.html?product\\_level\\_3=289&product\\_level\\_2=250&product\\_level\\_1=244&country=USA&r=1](http://www.us.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products_level_3/product_level3.html?product_level_3=289&product_level_2=250&product_level_1=244&country=USA&r=1)
- [18] SICK AG. *Vícepaprskové bezpečnostní světelné závory [online]*. *Sick.com* [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product\\_portfolio/optoelectronic\\_protective\\_devices/Pages/multiple\\_light\\_beam\\_safety\\_devices.aspx](http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_portfolio/optoelectronic_protective_devices/Pages/multiple_light_beam_safety_devices.aspx).
- [19] SICK AG. S3000 safety laser scanners [online]. *Sick.com* [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.sick.com/group/EN/home/products/product\\_portfolio/optoelectronic\\_protective\\_devices/Pages/safetylaserscanners\\_s3000.aspx](http://www.sick.com/group/EN/home/products/product_portfolio/optoelectronic_protective_devices/Pages/safetylaserscanners_s3000.aspx).
- [20] TECHNIKA A TRH. Stavebnicový systém z hliníkových profilů [online]. *Technikaatrh.cz* [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/komponenty/stavebnicovy-system-z-hlinikovych-profilu>
- [21] GRABCAD.COM. *Models* [online]. *Grabcad.com* [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <https://grabcad.com/>.

## 8 Přílohy